

Automatización de la técnica de hidroponía NFT en invernadero, con monitoreo web

Leonardo Bedoya Restrepo
Santiago Suarez Velasco

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
“INGENIERO ELECTRÓNICO”

Director
Ing. Mauricio Holguín Londoño

Universidad Tecnológica de Pereira
Facultad de ingeniería
Programa de Ingeniería electrónica
Pereira
2020

Contenido

1	RESUMEN	1
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3	JUSTIFICACIÓN.....	4
4	OBJETIVOS.....	5
4.1	Objetivo general	5
4.2	Objetivos específicos	5
5	MARCO CONCEPTUAL.....	8
5.1	Hidroponía	8
5.2	Técnica NFT	8
	Solución nutritiva:.....	9
	Canales del cultivo:.....	12
	Bomba:	12
	Estanque colector:	12
5.2.1	Invernadero	13
5.3	Norma IEC61131-3	14
5.4	Sensores, actuadores y mecanismos de control	16
5.4.1	Sensores	16
5.4.2	Actuadores	21
5.4.3	Mecanismos de control	23
6	CONCEPCIÓN DEL SISTEMA	41
7	DISEÑO DEL SISTEMA	42
8	IMPLEMENTACIÓN	46
8.1	Montaje	46
8.2	Programación.....	49
8.3	Análisis:	54
9	Conclusiones.....	61
10	Bibliografía.....	62

Índice de figuras y tablas

Tabla 5.1	Macronutrientes.....	9
Tabla 5.2	Micronutrientes.....	9
Tabla 5.3	Sales minerales	10

Tabla 5.4	Solución nutritiva	10
Tabla 7.1	Ductos del sistema	42
Tabla 7.2	Rangos PH y Electroconductividad	44
Tabla 7.3	Temperatura solución nutritiva	44
Tabla 7.4	Temperatura y HR ambiente	45
Tabla 8.2.1	Trama MODBUS.....	50
Tabla 8.2.2	Funciones MODBUS.....	50
Tabla 8.2.3	Entradas y salidas del PLC.....	50
Tabla 8.2.4	Entradas y salidas del esp	51
Tabla 8.2.5	Entradas y salidas del ADS	51
Tabla 8.3.1	temperatura 2019	54
Tabla 8.3.2	humedad relativa enero 2020	56
Tabla 8.3.3	PH y Electroconductividad.....	57
Tabla 8.3.4	Temperatura solución nutritiva	59
Figura 5.1	Sensor de pH	16
Figura 5.2	Sensor de E.C.....	17
Figura 5.3	Sensor de temperatura y humedad.....	18
Figura 5.4	Sensor de temperatura.....	19
Figura 5.5	Comportamiento lineal del sensor de temperatura	19
Figura 5.6	Sensor final de carrera.....	20
Figura 5.7	Motobomba.....	21
Figura 5.8	Motobomba pecera.....	22
Figura 5.9	ventilador cooler	22
Figura 5.10	esp8266 módulo wifi	23
Figura 5.11	esp8266 módulo wifi	24
Figura 5.12	esp8266 módulo NodeMCU	25
Figura 5.13	esquema general NodeMCU	26
Figura 5.14	MCU de NodeMCU	26
Figura 5.15	Pines NodeMCU	27
Figura 5.15	ads1115	30
Figura 5.16	Diagrama PLC	32
Figura 5.17	PLC CLICK.....	34
Figura 5.18	Filtrado	35
Figura 5.19	conexión	36
Figura 5.20	mensajes	36
Figura 5.21	suscripción	36
Figura 5.22	tipología protocolo MQTT	37
Figura 5.23	paneles de control.....	39
Figura 6.1	Diagrama de bloques del sistema hidropónico	41
Figura 7.1	Sistema hidropónico NFT	45
Figura 8.1.1	Modelo del sistema	47
Figura 8.1.2	Sistema implementado.....	47
Figura 8.1.3	sensor DTH11	47
Figura 8.1.4	sensor DTH11	48

Figura 8.1.6 caja de control del sistema.....	48
Figura 8.1.5 sensor de PH y E.C.....	48
Figura 8.2.1 Diagrama de flujo programación PLC.....	49
Figura 8.2.3 visualización web cultivo	52
Figura 8.2.4 niveles de los tanques	52
Figura 8.2.5 monitor web cultivo hidropónico de lechuga	52
Figura 8.2.6 comportamiento en el tiempo variables del cultivo	53
Figura 8.3.1 grafica de temperatura 2019	54
Figura 8.3.2 grafica de humedad relativa 2020.....	55
Figura 8.3.3 grafica de PH 2020	58
Figura 8.3.4 grafica de Electroconductividad 2020	58
Figura 8.3.4 grafica temperatura solución nutritiva 2020.....	59
Figura 8.3.5 Sistema NFT.....	60

PARTE I. INTRODUCCIÓN

1 RESUMEN

La palabra hidroponía proviene del griego Hydro que significa agua y Ponos que significa labor, trabajo o esfuerzo (trabajo en agua) [1]. Existen diversas técnicas de cultivos hidropónicos, una de estas técnicas es el cultivo NFT que se basa en la recirculación de nutrientes. Hoy en día, la hidroponía es el método más intensivo de producción hortícola, generalmente es de alta tecnología y de fuerte capital y viene siendo aplicada exitosamente con fines comerciales en países desarrollados. En nuestro país se implementan estas técnicas con principios básicos del cultivo aplicando métodos tradicionales de medición y control [1, 2]. Este proyecto busca monitorear, controlar y automatizar un cultivo hidropónico tipo NFT de lechuga en invernadero.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La agricultura marca un aspecto fundamental en la historia del ser humano dando paso a la evolución del hombre y cambiando su instinto de caza por un método más sano, eficiente y productivo de obtener comida. A pesar de que su evolución ha sido lenta, el incremento de la población mundial ha obligado a desarrollar nuevas tecnologías agrícolas en fertilizantes y químicos que deterioran la tierra, por lo que “el mundo necesita producir más alimentos que nunca antes, mientras conservamos los limitados recursos que tenemos disponibles” [2]. Una respuesta a este problema inminente son los cultivos hidropónicos, los cuales aumentan la calidad y productividad de la cosecha, se pueden automatizar y sistematizar y no surge la necesidad de suministrar los nutrientes a través de la tierra. En 1960 Alen Cooper desarrolló la Nutrient Film Technique. La técnica de hidroponía que se basa en la recirculación de nutrientes a través de su ionización con el agua, es en la actualidad una de las técnicas más utilizadas, ya que da solución a problemas que surgieron en los principios de la hidroponía en el suministro correcto del agua, oxígeno y nutrientes. Debido a que no todos los minerales y otros componentes que posee la tierra los utiliza la planta, de igual forma la tierra no tiene todo lo que esta necesita, se ha visto la necesidad de utilizar abonos y fertilizantes, en esta técnica de hidroponía se optimizan los recursos dándole a la planta la cantidad de agua que esta necesita y además los nutrientes y minerales para su correcto crecimiento, esto se le suministra mediante una solución nutritiva creada a partir de dos o más mezclas de acuerdo a la planta que se va a producir, estas mezclas de distintos elementos son disueltas en agua y con medidas exactas por separado, posteriormente se unen y se equilibran sus niveles de ph y electroconductividad, dicha sustancia es suministrada paulatinamente cada cierto tiempo. Los cultivos en invernadero permiten tener un control de plagas, pero surgen problemas relacionados con el tiempo de trabajo, control y monitoreo de flujo de nutrientes, condiciones del medio en el invernadero las cuales se han intentado solucionar con formas convencionales de automatización. Con este proyecto se busca mejorar un tipo de cultivo hidropónico NFT (Nutrient Film Technique, técnica de película de

nutrientes) de hortalizas en invernadero por medio del control y monitoreo en tiempo real de algunas de sus variables como lo son la temperatura del invernadero y la solución nutritiva, un control adecuado del flujo de nutrientes, un monitoreo de la electro conductividad de la sustancia nutritiva, el ph y las diferentes medidas porcentuales que conforman cada nutriente en la solución. A través de la implementación de diferentes software y mecanismos de hardware en la telemetría que nos permitan tener acceso a cualquier tipo de información previamente establecida del cultivo [4].

3 JUSTIFICACIÓN

Con el gran crecimiento poblacional y los drásticos cambios climáticos, las áreas aptas para la agricultura son cada vez más limitadas, “América latina y el caribe son la región en desarrollo más urbanizada del mundo. Su principal desafío es alimentar millones de habitantes, pero sin extender la frontera agrícola”, las plagas aumentan y las alternativas para dar solución a este problema son perjudiciales para las personas y el medio ambiente. Los cultivos hidropónicos en invernadero son una de las alternativas tentativas y de alta productividad, Colombia hace énfasis en este desafío promoviendo alternativas básicas de cultivos con proyectos como CRIO, SIEMBRO... COMO Y AHORRO y el proyecto COLOMBIA SIEMBRA. Algunos estudiantes de universidades de nuestro país promueven proyectos como la agricultura urbana que busca incentivar el uso de huertas y sistemas hidropónicos en los hogares para el autoconsumo, sin embargo, para que este tipo de cultivo sea exitoso necesita de un monitoreo y control constante donde la intervención humana sea necesaria y poco eficiente durante todo el proceso de producción del cultivo hidropónico de hortalizas. Colombia en la actualidad no cuenta con cultivos hidropónicos automatizados que permitan un manejo ideal del cultivo en su proceso de producción hortícola. Surge la necesidad de llevar una alternativa de cultivo hidropónico controlado y automatizado en invernadero que permita obtener una alta calidad de producción de alimentos en espacios reducidos, al igual que un control de plaga promoviendo el uso eficiente y sostenible de los recursos naturales sin afectar las fuentes hídricas y dando un máximo aprovechamiento del área disponible. Al automatizar cultivos hidropónicos y poseer el control y monitoreo del cultivo desde cualquier sitio se disminuye la intervención directa del proceso en el invernadero, se hace un aporte a la agricultura proveyendo de una opción moderna donde la tecnología y una de las diferentes técnicas de hidroponía se unen para generar avances al control de plagas, al uso eficiente de los recursos, al monitoreo y automatización del proceso de producción de hortalizas a través de distintos sistemas de adquisición de datos y mecanismos de control. Por lo tanto, con este proyecto se busca brindar una herramienta tecnológica que brinde reducir notablemente las horas de trabajo y pérdidas en el cultivo causadas por la ineficiencia en el control adecuado de las variables propias del sistema NFT, promoviendo el consumo de alimentos saludables y cuidado de la tierra.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

- Controlar y automatizar un cultivo hidropónico NFT para lechugas en invernadero, monitoreando cada una de sus variables por medio de una plataforma web.

4.2 Objetivos específicos

- Identificar, analizar y asociar cada una de las variables que definen a cada uno de los sistemas del cultivo deseado (NFT, invernadero y producción de la lechuga).
- Diseñar e implementar el control y la automatización del cultivo hidropónico de lechuga en invernadero utilizando las diferentes técnicas de control digital y herramientas de instrumentación digital y telemetría.
- Monitorear y visualizar cada una de las variables que definen al sistema NFT para lechuga en invernadero a través de una plataforma web.
- Demostrar el correcto funcionamiento del monitoreo, control y automatización del sistema NFT para lechuga en invernadero.

PARTE II. MATERIALES Y MÉTODOS

5 MARCO CONCEPTUAL

5.1 Hidroponía

La palabra hidroponía se deriva del griego Hydro (agua) y ponos (labor o trabajo), la hidroponía es un método para cultivar sin la necesidad de utilizar la tierra como medio para la obtención de los nutrientes aprovechando al máximo cualquier tipo de área acta. Los primeros intentos hidropónicos de cultivar plantas datan de la antigüedad en los jardines colgantes de Babilonia, también se tiene registro en China, Egipto y la India. Entre 1929 y 1930 el profesor de fisiología vegetal de la Universidad de California, Dr. William Gericke, logró un éxito sin precedentes al instalar unidades de cultivo sin tierra al aire libre, llamando este sistema como hidroponía, a partir de esto surgen las diversas técnicas de cultivos hidropónicos. Los sistemas hidropónicos se pueden clasificar en sistemas puros o sistemas con sustrato, los sistemas hidropónicos puros (en agua) son sistemas hidropónicos por excelencia, donde las raíces de las plantas están en contacto directo con la solución nutritiva. En los sistemas con sustrato, las raíces de las plantas crecen y desarrollan en sustratos inertes, la solución nutritiva fluye entre las partículas del sustrato humedeciendo las raíces. Entre los sistemas más desarrollados e investigados se encuentra por sustrato sólido, raíz flotante y la técnica de la película nutritiva (NFT).

5.2 Técnica NFT

Esta técnica de la película nutritiva "NFT" (Nutrient film technique), se basa en la recirculación continua o periódica de una proporción adecuada de solución nutritiva que pasa a través de las raíces del cultivo por medio de conductos o tubos cerrados que deben de contar con una pendiente para posibilitar la recirculación de la sustancia nutritiva. Su creador, el Dr. Allan Cooper, montó originalmente un sistema consistente de un complejo circuito de canales de concreto donde el flujo de la solución nutritiva se mantenía gracias al funcionamiento de dos bombas. Luego, este sistema fue simplificado al diseñarlo con una sola bomba impulsora, aunque persistió por largo tiempo la utilización de canales de cemento. esta técnica de cultivo hidropónico deja como resultado la producción de hortalizas frescas y de alta calidad gracias a que sus raíces permanecen en contacto constante con el agua y elementos minerales que permiten a las plantas obtener el potencial productivo. Pero con algunas desventajas que son principalmente su alto costo de implementación, ya que necesita un consumo constante de energía, una mayor inversión inicial y un conocimiento previo en cuanto a la preparación de la solución nutritiva, pero todo esto resulta rentable si se considera como una inversión a largo plazo.

Para la construcción del sistema hidropónico tipo NFT se hace necesario el uso y conocimiento adecuado de cada uno de los elementos que son indispensables para su implementación como lo son solución nutritiva, canales del cultivo, bomba de agua, estanque colector.

Solución nutritiva:

En la hidroponía los elementos nutritivos esenciales son aportados por la solución nutritiva, el suministro adecuado en cuanto a los rangos de los nutrientes depende de cada una de las etapas de desarrollo de la planta, pero existen soluciones nutritivas para cada una de las técnicas hidropónicas. por esta razón en la formulación de la solución nutritiva y su control recae el éxito del cultivo NFT. Para la formulación de la solución nutritiva se debe tener en cuenta los elementos minerales esenciales para el desarrollo planta como lo son los macronutrientes (tabla 1) y los micronutrientes (tabla 2), así como la elección de las sales minerales que son utilizadas en el cultivo como fertilizantes (tabla 3).

Tabla 5.1 Macronutrientes

Elemento mineral	Símbolo químico
nitrógeno	N
Fosforo	P
Potasio	K
Calcio	Ca
Magnesio	Mg
Azufre	S

Tabla 5.2 Micronutrientes

Elemento mineral	Símbolo químico
Hierro	Fe
Magnesio	Mn
Zinc	Zn
Boro	B
Cobre	Cu
Molibdeno	Mo
Cloro	Cl

Tabla 5.3 Sales minerales

compuesto	fórmula de Hoagland (g/l)
KNO ₃	1,020
Ca (NO ₃) 4H ₂ O	0,492
NH ₄ (H ₂ PO ₄)	0,230
MgSO ₄ 7H ₂ O	0,490
H ₃ BO ₃	2,860 mg
MnCl ₂ 2H ₂ O	1,810 mg
CuSO ₄ 5H ₂ O	0,080 mg
ZnSO ₄ 5H ₂ O	0,220 mg
Na ₂ Mo ₄ H ₂ O	0,090 mg
FeSO ₄ 7H ₂ O 0,5%	0,600 ml

Tabla 5.4 Solución nutritiva

Nombre químico	Fórmula química
Nitrato de Calcio	Ca (NO ₃) ₂
Nitrato de potasio	KNO ₃
Nitrato de magnesio	Mg (NO ₃) ₂ · 6H ₂ O
Fosfato monopotásico	KH ₂ PO ₄
Sulfato de magnesio	MgSO ₄ · 6H ₂ O
Sulfato de potasio	K ₂ SO ₄
Sulfato de magnesio	MnSO ₄
Ácido bórico	H ₃ BO ₃
Sulfato de cobre	CuSO ₄ · 5H ₂ O
Molibdato de amonio	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O
Sulfato de zinc	ZnSO ₄ · 7H ₂ O

Para la formulación de la solución nutritiva en cuanto el manejo de rangos de los nutrientes depende más del desarrollo de la planta, pero existen diferentes tipos de formulaciones de soluciones nutritivas que existen en el mercado, así como soluciones sugeridas por algunos autores en este caso se dará ejemplo de una de las soluciones más utilizadas (tabla 4). ya que en nuestro caso con un pequeño cultivo hidropónico es más sencillo y cómodo recurrir a las soluciones ya preparadas.

En el caso del cultivo tipo NFT donde la recirculación de la solución siempre está en contacto con la planta a través de las raíces, las concentración de las sales van cambiando por este motivo se hace necesario su monitoreo y control para esto se necesita una medida constante de sus niveles de electro conductividad (CE) y (PH), la conductividad eléctrica nos indica las concentraciones de las sales en la solución nutritiva su efectividad se basa en la proporción de la solución respecto a la concentración de sales disueltas, su medida se da en maliciemos (ms/cm) en el caso de la lechuga el nivel de conductividad es de 1.3 dS/m .El PH mide el grado de acidez de la solución nutritiva este parámetro se debe controlar para mantener la disponibilidad de los elementos nutritivos en la solución su rango está entre los 6,0 y 6,5 para que todos los nutrientes estén disponibles y las plantas pueden absorber los elementos nutricionales que necesitan. Pero los cuidados de la solución no sólo se basan en las correcciones diarias de ajuste de volumen de agua, conductividad eléctrica y pH, sino también, que debe encontrarse limpia y en la oscuridad. El control de la temperatura no es necesario en sitios donde el clima es templado. En las zonas o temporadas frías, es conveniente tener un sistema de calefacción para evitar temperaturas menores a 15 °C. La Solución nutritiva también debe protegerse con la radiación directa de los rayos solares para evitar su calentamiento, y alteración química y microbiológica.

Canales del cultivo:

Los canales del cultivo permiten la sujeción de la planta ya que es un sistema netamente hidropónico, al igual que permite el flujo de la solución a través del el, estos canales por lo general son oscuros y de PVC de esta forma se reduce la proliferación de algas y la evaporación de la solución, también se debe considerar que los canales donde va a fluir la solución nutritiva deben de tener una pendiente del 2% de su longitud esto para asegurar un flujo continuo y no permitir que el agua se estanque en ciertos puntos.

Bomba:

La bomba de agua es fundamental en este sistema ya que se encarga de impulsar la solución nutritiva a través de los canales, existen dos tipos de bombas de accionamiento eléctrico de operación sumergida o no sumergida la elección de una bomba adecuada a las necesidades del cultivo es de gran importancia dentro de los costos de producción o las futuras ampliaciones del módulo productivo, de manera de evaluar el tamaño más conveniente. Ello puede considerar, desde un comienzo, la adquisición de una bomba de mayor tamaño, con los consiguientes costos de operación, o simplemente contar posteriormente con otra unidad acorde al incremento de la superficie productiva. La bomba debe localizarse en forma próxima al estanque colector, sobre una base firme para evitar movimientos y vibraciones. Al mismo tiempo, deberá tenerse especial preocupación de no hacer funcionar la bomba en seco y adoptar las protecciones termoeléctricas necesarias que eviten la pérdida total de la bomba frente a eventuales fallas en el sistema. Por esta razón se debe de considerar en cultivos a gran escala un dispositivo de alerta que indique una interrupción en esta y que cause pérdida en el cultivo.

Estanque colector:

Su función es almacenar la solución nutritiva para que esta sea llevada a los canales del cultivo, existen diferentes tipos de colectores, pero su elección se debe basar en el tipo de material, tamaño y aislamiento; El volumen del estanque está en función directa del número de plantas a cultivar y el tipo de corrección química ya sea corrección manual o automático de la solución nutritiva también en relación al volumen remanente en el estanque, el cual asegura que la bomba no deje de funcionar. Si se cuenta con un estanque de pequeña capacidad, el volumen de la solución disminuirá rápidamente por lo que las correcciones de la solución serán más frecuentes, incluso llegando a más de una corrección por día, lo que hace prácticamente al sistema inoperable y si se cuenta con un estanque colector de gran volumen, los cambios de temperatura de la solución nutritiva serán más graduales en relación a la temperatura ambiental. el estanque colector debe permanecer cubierto para evitar el desarrollo de algas, las cuales consumen oxígeno de la solución, aumentan la degradación de compuestos químicos de ésta y favorecen su contaminación con restos orgánicos.

5.2.1 Invernadero

Un invernadero por lo general es un sitio cubierto de plástico o vidrio que no permite el paso de la lluvia al interior y que tiene por objetivo controlar y simular las condiciones climáticas más adecuadas para el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas en su interior, con cierta independencia del medio exterior y cuyas estructuras posibilitan el trabajo de las personas en el interior. Las características y formas del invernadero estarán dispuesta por las condiciones climáticas (temperatura, luz solar, lluvia y aire), conforme a lo mencionado se establece la orientación de la estructura. Algunos de los tipos de invernaderos más comunes en el mundo son:

- Invernadero-túnel.
- Invernadero capilla (a dos aguas).
- Invernaderos en diente de sierra.
- Invernadero capilla modificado.
- Invernadero con techumbre curva.
- Invernadero tipo “parral” ó “almeriense”.
- Invernadero “holandés” (tipo Venlo).

La estructura debe ser resistente, ligera de fácil construcción y poco voluminosa con el fin de evitar sombras de las mismas sobre las plantas. Cuando se hace circular el aire, la temperatura del invernadero se homogeniza y la condensación de humedad se reduce haciendo que la utilización del CO₂. (Bióxido de Carbono) mejore, para su ventilación es recomendable que el área de ventilas sea aproximadamente igual del 15% al 30% del área del piso ocupado por la nave de invernadero el nivel de enfriamiento es mejorado cuando se considera las paredes laterales en el área total de ventilación.

Condiciones del invernadero:

Una de las principales características del invernadero es mantener unas condiciones climáticas adecuadas que permitan satisfacer las necesidades fisiológicas de las plantas como

- Agua: en la cual se encuentran disueltos los nutrientes de las plantas.
- Humedad relativa: la cual nos propicia el control de temperaturas.
- Temperatura: esta incide en el desarrollo eficiente de la planta en cada uno de sus etapas.
- Ventilación: es la renovación del aire dentro del invernadero con la finalidad de aportar CO₂ necesario para el desarrollo de los cultivos y disminuir la temperatura interna.

5.3 Norma IEC61131-3

La norma IEC 61131-3 consiste en estandarizar los autómatas programables, así como también los lenguajes de programación para la normalización en las soluciones de control industrial, para esto se lleva a cabo una serie de pasos a seguir.

- Vista general
- Hardware
- Lenguaje de programación
- Guías de usuario
- Comunicación

El tercer ítem se basa en las especificaciones en cuanto a la sintaxis, semántica, software y estructura del lenguaje de programación. El estándar se puede dividir en dos partes.

Elementos comunes:

Se define una serie de especificaciones en cuanto a tipos de datos, variables, configuración, recursos y tareas, unidades de organización de programa.

- Tipos de datos: donde se define el tipo de dato a utilizar, los más comunes son datos tipo entero, real, booleano, palabra, byte, fechas, string. basado en estos datos se puede definir datos derivados.
- Variables: se identifica los objetos de los datos que pueden variar, las variables se pueden declarar como uno de los tipos de datos ya mencionados o como un tipo de dato derivado.
- Configuración, recursos y tareas: (imagen modelo software) la configuración es específica para cada problema de control esta se puede definir como el elemento de software que se necesita para solucionar dicho problema. en la configuración se definen unos recursos como un procesador y en cada recurso se pueden definir tareas y en cada tarea se controla la ejecución de un conjunto de programas o bloques de función que pueden ser ejecutados periódicamente o por una señal de disparo.
- Unidad de organización de programas (PAO): en esta parte se encuentra los programas, bloques funcionales y funciones en los programas se declara los tipos de datos, variables, código, distintas instancias de funciones y bloques funcionales. Los programas son “un conjunto lógico de todos los elementos y construcciones del lenguaje de programación que son necesarios para el

tratamiento de señal previsto que se requiere para el control de una máquina o proceso mediante el sistema de autómatas programables". Las funciones se pueden especificar en estándar o definidas por el usuario. Los bloques funcionales contienen datos e instrucciones, son los equivalentes de los circuitos integrados que representan funciones de control específicos.

- Gráfico funcional secuencial (SFC)(imagen): se describe la secuencia de un programa de control de una manera más sencilla partiendo de poder llevar la norma documentada a un conjunto de elementos de control de ejecución para una PAO.

Lenguajes de programación

Se definen cuatro lenguajes de programación normalizados ambos interrelacionados para solucionar un problema si se desea, dos de tipo literal y dos de tipo gráfico, en los de tipo literal se encuentra la lista de instrucciones (Instruction List, IL) y texto estructurado (Structured Text, ST), y en los de tipo gráfico se encuentran los diagramas de contactos (Ladder Logic Diagram, LD) y diagrama de bloques funcionales (Function Block Diagram, FBD). El Diagrama de contactos (LD) está basado en la presentación gráfica de la lógica de relés. Lista de Instrucciones (IL) es el modelo de lenguaje ensamblador basado en un acumulador simple. El Diagrama de Bloques Funcionales (FBD) es muy común en aplicaciones que implican flujo de información o datos entre componentes de control. Las funciones y bloques funcionales aparecen como circuitos integrados. El lenguaje Texto Estructurado (ST) es un lenguaje de alto nivel con orígenes en el Ada, Pascal y 'C'; puede ser utilizado para codificar expresiones complejas e instrucciones anidadas; este lenguaje dispone de estructuras para bucles (REPEAT-UNTIL; WHILE-DO), ejecución condicional (IF-THEN-ELSE; CASE), funciones (SQRT, SIN) etc.

Diseño top-down - Bottom-up (imagen)

Esto reitera que el programa de control se puede desarrollar de distintas formas y la norma IEC 61131-3 ayuda a contemplar cada una de ellas durante el proceso.

5.4 Sensores, actuadores y mecanismos de control

5.4.1 Sensores

Un sensor o transductor, convierte un fenómeno físico en una señal eléctrica que se puede medir. Dependiendo del tipo de sensor, su salida eléctrica puede ser un voltaje, corriente, resistencia u otro atributo eléctrico que varía con el tiempo. Algunos sensores pueden requerir componentes adicionales y circuitos para producir correctamente una señal que puede ser leída con precisión y con toda seguridad por un dispositivo DAQ.

5.4.1.1 Sensor de PH

Para este tipo de cultivo que se implementó, no es necesario contar con un sensor que pueda estar en contacto con la solución nutritiva indefinidamente, debido a que el PH es una variable lenta. Para la medicación de esta variable se implementó un sensor SEN0043 de PH (figura 5.1), el cual funciona bajo los siguientes parámetros:

- Alimentación: 5V.
- Rango de medida: 0 a 14 PH.
- Rango de temperatura: 0 a 60°C.
- Tiempo de respuesta ≤ 1 min.
- Ganancia ajustable.
- Precisión: ± 0.1 pH (25 °C)



Figura 5.1 Sensor de pH

5.4.1.2 Sensor de Conductividad Eléctrica

Para la medición de esta variable del sistema se implementó un sensor DFR0300 (figura 5.2), el cual es un medidor análogo de conductividad eléctrica que funciona bajo los siguientes parámetros.

- Alimentación: 5V.
- Rango de medición: 1ms/cm — 20ms/cm
- Rango de temperatura: 5 a 40°C.
- Precisión: $< \pm 5\%$ F.S.



Figura 5.2 Sensor de E.C

5.4.1.3 Sensor de temperatura y humedad relativa en el ambiente

Para la medición de estas dos variables se utilizó el sensor DHT11 (figura 5.3), cuenta con un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire que circula, este sensor muestra el dato en una señal digital y cumple con las siguientes características.

- Alimentación: 5V.
- Rango medición de humedad: 20% ~ 90% RH
- Resolución humedad: 1% RH
- Precisión medición de humedad: $\pm 5\%$ RH
- Rango medición de temperatura: 0~60 °C
- Precisión medición de temperatura: ± 2.0 °C

- Resolución temperatura: 0.1°C

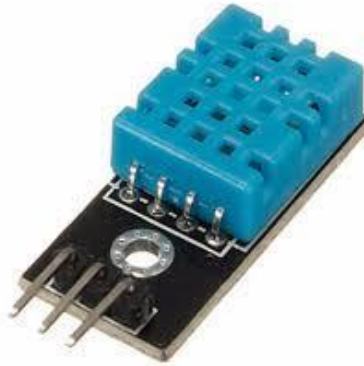


Figura 5.3 Sensor de temperatura y humedad

5.4.1.4 Sensor de temperatura en la solución

Para tomar esta medición se utilizó un sensor de temperatura LM35 (figura 5.4), el cual cuenta con una precisión calibrada de 1 °C. Su rango de medición abarca desde -55 °C hasta 150 °C. La salida es lineal y cada grado Celsius equivale a 10 mV, por lo tanto, requiere de circuitos adicionales para calibrarlo externamente. La baja impedancia de salida, su salida lineal y su precisa calibración hace posible que esté integrado sea instalado fácilmente en un circuito de control. Debido a su baja corriente de alimentación se produce un efecto de autocalentamiento muy reducido; cumple con las siguientes características.

- Exactitud de ± 0.5 °C a\
- Temperatura ambiente (25 °C), y ± 0.8 °C
- En el rango completo Bajo autocalentamiento: 0.08 °C
- Con aire en reposo Lineal. Salida de 10 mV/°C
- Voltaje de operación: 4 V a 30 V
- Consumo de corriente: < 60 μ A
- Impedancia de salida: 0.1 Ω con carga de 1 mA
- Temperatura de operación: -55 °C a +150 °C

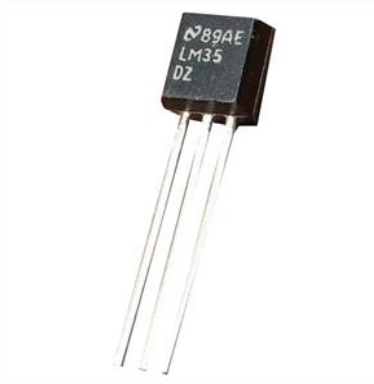


Figura 5.4 Sensor de temperatura

El comportamiento lineal del sensor de temperatura se muestra en la (figura 5.5), donde se tomaron tres puntos de referencia del datasheet del integrado para establecer la ecuación lineal de la temperatura en función del voltaje. Esta ecuación servirá para realizar la conversión del voltaje a grados centígrados con un margen de error de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

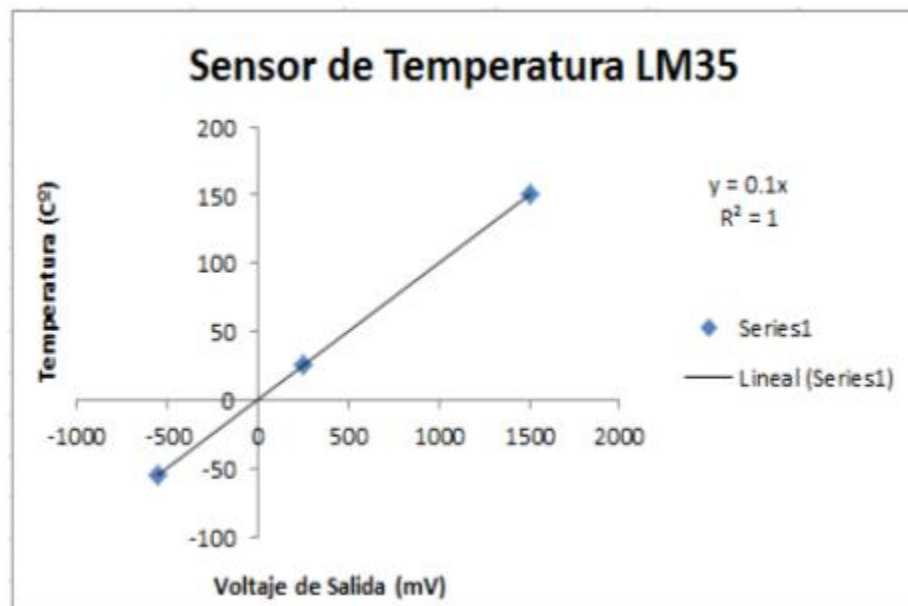


Figura 5.5 Comportamiento lineal del sensor de temperatura

5.4.1.5 Sensor de nivel de liquido

Para la medición de nivel se utilizaron finales de carrera ligados a un flotador, de manera que cuando el agua llegue al nivel deseado desplace el flotador y este activara el final de carrera indicando el nivel de la forma tradicional.

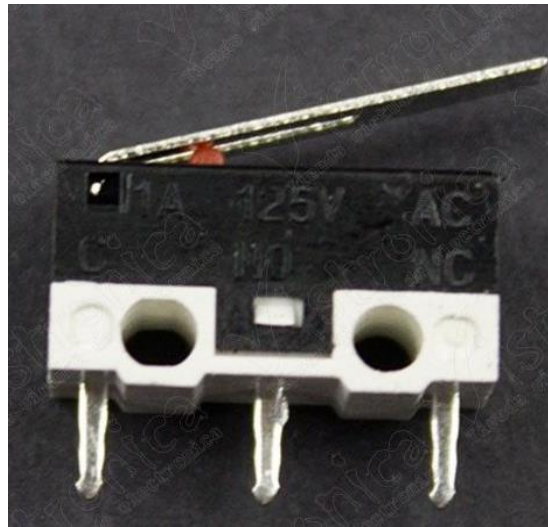


Figura 5.6 Sensor final de carrera

Características

Numero de pines

3

Voltaje de operación

125Vac - 250Vac

Temperatura

-25°C - 85°C

5.4.2 Actuadores

5.4.2.1 Moto bomba

Para el sistema de riego se utilizó dos motobombas, la primera una motobomba marca KARSON (figura 5.7), la cual es la encargada de abastecer de agua el tanque principal, sus principales características son:

- Qmax:28 L/min
- Alimentación:110V- 60Hz
- Corriente: 4.6A
- Caballos: 0.5HP
- Clase B



Figura 5.7 Motobomba

La segunda motobomba (figura 5.8), se encarga de suministrar el flujo de la solución nutritiva al cultivo sus principales características son:

- Alimentación: 110V - 60Hz
- Potencia: 300L/h
- Altura máxima: 0.6 m



Figura 5.8 Motobomba pecera

5.4.2.2 Extractor e intractor

Para controlar las condiciones de temperatura y humedad necesarias en el invernadero se utilizó dos ventiladores tipo cooler (figura 5.9), el cual es eficiente y silencioso tanto si se utiliza para extraer el aire fresco en el sistema o empujar el aire caliente hacia fuera. Sus principales características son:

- Flujo máximo de aire 50.44 CFM
- Ruido 20,7 dB-A
- Alimentación 1,92 W
- Velocidad del ventilador 2000 RPM
- Tipo de rodamiento Hidráulico
- Tensión comenzado 9,0 V
- Tensión nominal 12 V



Figura 5.9 ventilador cooler

5.4.3 Mecanismos de control

5.4.3.1 ESP8266

El ESP es un chip wifi que funciona mediante el protocolo TCP/IP. Contiene un micro controlador (Tensilica Xtensa LX106) el cual es utilizado para el manejo de dicho protocolo y el software necesario para la conexión 802.11. dispone de entradas/salidas digitales de propósito general (GPIO), así como una entrada análoga (ADC de 10 bits). se puede programar en diferentes entornos de programación existen diferentes modelos del ESP8266 los cuales varían en la cantidad de GPIOs disponibles y la forma/tecnología de la antena wifi. En nuestro caso, nos centraremos en el modelo ESP-12 (figura 5.10), por ser el q tiene un uso más extendido [5]

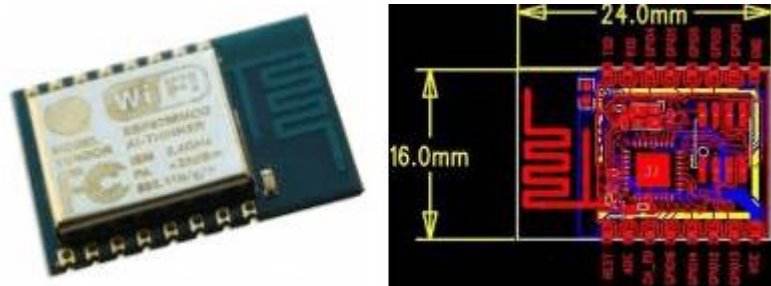


Figura 5.10 esp8266 módulo wifi

Especificaciones del chip ESP8266

Hardware

- Utiliza una CPU Tensilica L106 32-bit
- Voltaje de operación entre 3V y 3,6V
- Corriente de operación 80 mA
- Temperatura de operación -40°C y 125°C

Conectividad

- Soporta IPv4 y los protocolos TCP/UDP/HTTP/FTP
- No soporta HTTPS en un principio. Si que lo hace mediante software tanto en cliente como servidor TLS1.2. La primera implementación está todavía en desarrollo.

Puertos GPO de propósito general

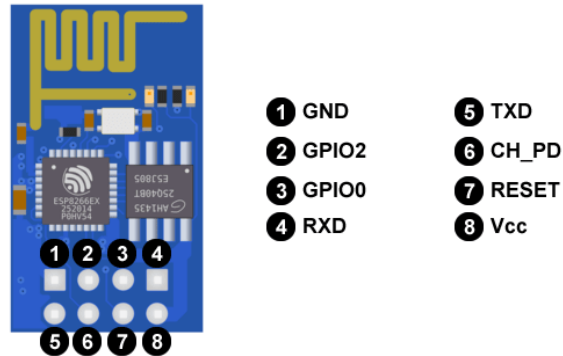


Figura 5.11 esp8266 módulo wifi

- Tiene 17 puertos GPIO, pero solo se pueden usar 9 o 10. El GPIO16 es especial ya que está conectado al RTC (Real Time Clock).
- Pueden ser configurados con resistencia a pull-up pull down
- Soporta los principales buses de comunicación (SPI, I2C, UART).

Características eléctricas

- Voltaje de trabajo entre 3V y 3,6V.
- Según noticias del propio CEO de Espressif, admite tensiones de entrada de 5V e los puertos GPIO.

Consumos

Dependerá de diferentes factores como el modo en el que esté trabajando el ESP8266, de los protocolos que estemos utilizando, de la calidad de la señal Wifi y sobre todo de si enviamos o recibimos información a través de la Wifi. Oscilan entre los 0,5 μ A (microamperios) cuando el dispositivo está apagado y los 170 mA cuando transmitimos a tope de señal.

Modos de operación

Debido a los sectores a los que va enfocado, wereables, dispositivos del IoT y móviles, el ESP8266 requiere de una gestión de energía eficaz. Dispone de una arquitectura de bajo consumo que trabaja en 3 modos.

- Active mode o modo activo: a pleno rendimiento.
- Sleep mode o modo dormido: solo el RTC (Real Time Clock) está activo para mantener la sincronización. Se queda en modo alerta de los posibles eventos que le hagan despertar. Mantiene en memoria los datos de conexión y así no hace falta volver a establecer la conexión con la Wifi. Consume entre 0,6 mA y 1 mA.
- Deep sleep o modo en sueño profundo: el RTC está encendido, pero no operativo. Debe pasar por el modo dormido antes de despertar. Hay que llevar especial cuidado con los datos ya que en este estado es como si estuviera apagado y todos los datos que no estén almacenados se pierden. Consume alrededor de 20 μ A.

NodeMCU

NodeMCU es un proyecto open source para el desarrollo de un modelo sencillo de integrar la IoT (internet of things), para ello se desarrollan modelos hardware y software que facilite el desarrollo de programas y aplicaciones basados en wifi (figura 5.12). [6]

La ventaja de este desarrollo con respecto al resto de módulos básicos de ESP8266, es que su programación se hace totalmente transparente, al no requerir ningún cambio en sus pines para la programación, y disponer de conexión USB.

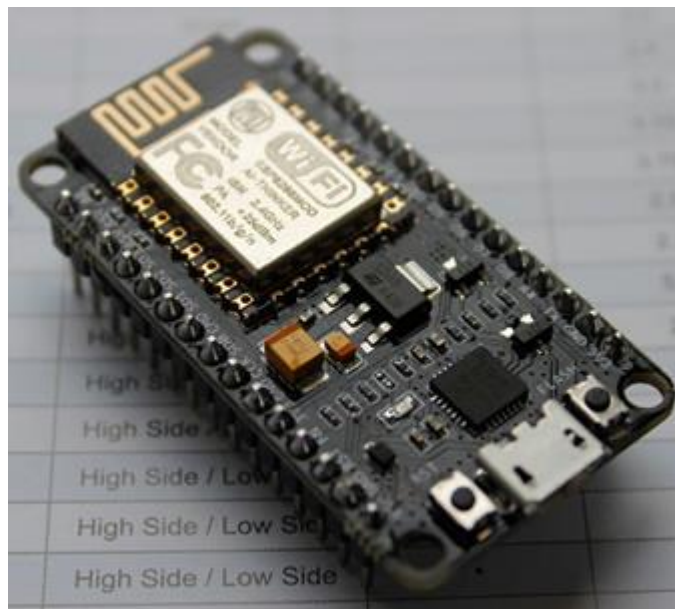


Figura 5.12 esp8266 módulo NodeMCU

La propia placa dispone de un regulador de alimentación, así como un chip USB-Serial para la comunicación del ESP8266 directamente desde el USB del ordenador, además de un acceso fácil a los pines GPIO, una memoria Flash de 1Mb para el almacenamiento de varios programas, 2 puertos Rx/Tx,

El esquema general de este tipo de placas sería el siguiente (figura 5.13).

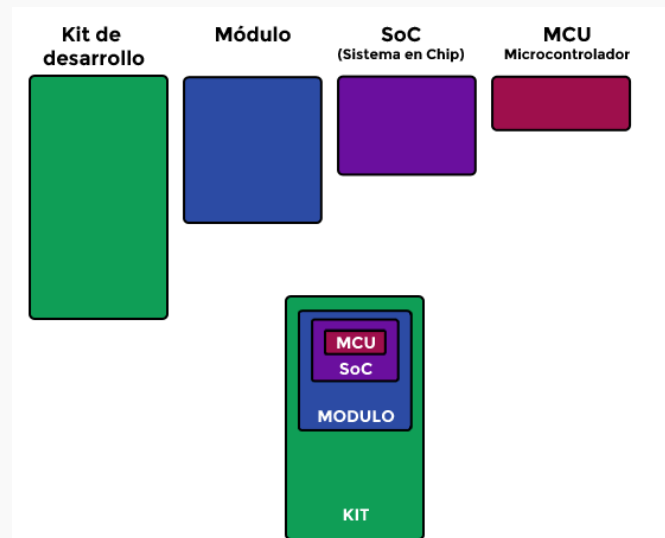


Figura 5.13 esquema general NodeMCU

MCU o microcontrolador de NodeMCU

Vamos a partir de la unidad más básica la MCU o microcontrolador. En el NodeMCU este chip se integra dentro del SoC. Como veremos a continuación, a todo este conjunto (SoC) se le conoce como ESP8266 (figura 5.14).

Por lo tanto, en términos estrictos el ESP8266 no es un microcontrolador. Dentro si que lleva uno y se llama Tensilica L106 de 32-bit. La MCU se va a encargar de gestionar todas las entradas, salidas y cálculos necesarios para hacer funcionar el programa que hayamos cargado.

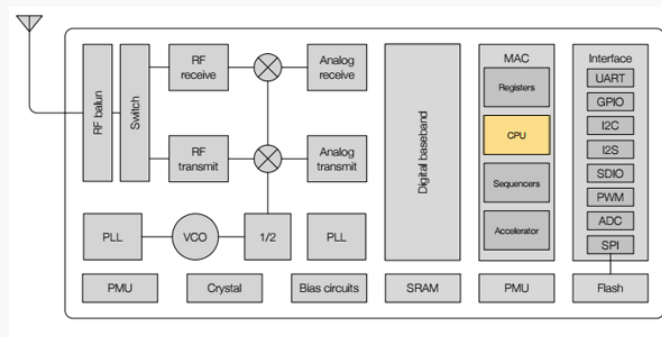


Figura 5.14 MCU de NodeMCU

Funciona con 32-bit lo que viene a decir que puede realizar operaciones con números de ese tamaño (de 0 a 4.294.967.295 o de -2.147.483.648 a 2.147.483.647).

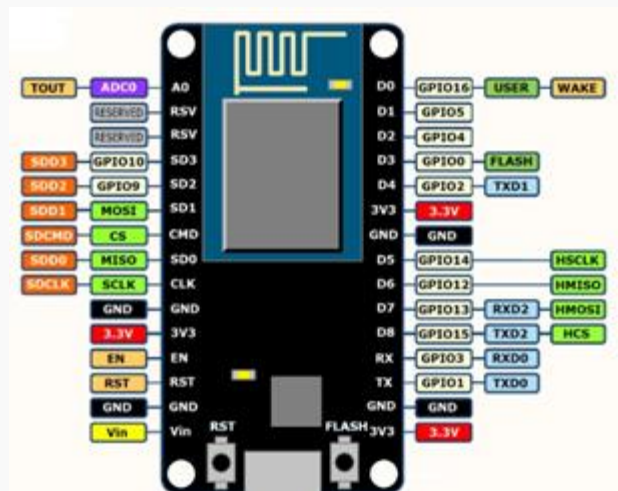
Trabaja a una velocidad de 80MHz, aunque puede llegar a los 160MHZ. Para que te hagas una idea, mi primer PC tenía una velocidad de 160MHz. Esto nos indica la frecuencia con la que la MCU ejecuta las instrucciones.

Pines digitales útiles de NodeMCU

El ESP8266 no tiene memoria flash y por lo tanto necesita de una memoria externa en la que almacenar los programas y datos. Para conectarse a ella, necesita utilizar pines del propio ESP8266.

Debido a esto, alguno de los pines de NodeMCU no pueden ser utilizados. Dependerá de la versión y el fabricante con el que estemos trabajando, pero lo recomendable es no utilizar los pines GPIO6, GPIO7, GPIO8, GPIO9 (D11), GPIO10 (D12) y GPIO11. Solo dos de ellos son accesibles a través de la placa NodeMCU, el pin GPIO9 (D11) y el pin GPIO10 (D12). En tu placa aparecerá probablemente como SD2 y SD3. Evita, en la medida de lo posible, utilizar estos pines para conectar sensores y componentes. De los pines restantes es aconsejable no utilizar tampoco los pines D9 y D10 correspondientes al Rx (recibir) y Tx (transmitir).

Estos pines se utilizan para transmitir un programa o sketch o para la comunicación entre el NodeMCU y el PC a través del puerto serie. Si se utilizan pueden ocasionar interferencias a la hora de cargar un programa. Por lo tanto, nos quedarían los pines del D0 al D8, 9 pines digitales de entrada y salida (figura 5.15).



Pin analógico de NodeMCU

En los pines digitales solo tenemos dos estados LOW y HIGH, en el pin analógico vamos a poder tener un rango de valores. Este rango vendrá determinado por la resolución del conversor ADC (del inglés Analog Digital Converter) Conversor Analógico Digital.

El NodeMCU tiene solo un pin analógico que admite un rango de valores de 0 a 3,3V con una resolución de 10-bit. Esto implica que dentro del código tendremos un valor entre 0 y 1023 que se mapea con el voltaje entre 0 y 3,3V.

Pines de alimentación de NodeMCU

Los pines de alimentación tienen 2 funciones:

- Alimentar sensores y componentes (salida)
- Alimentar la propia placa (entrada)

El voltaje de operación de NodeMCU es de 3,3V y por lo tanto, en principio no podríamos alimentar ningún componente que necesitara 5V. Sin embargo, cuando se alimenta a través del puerto USB con 5V, internamente tiene un regulador de voltaje que saca 3,3V y 5V. Los 3,3V se utilizan para alimentar el NodeMCU (electrónica) y para sacarlo por los 3 pines marcados con ese valor.

Los 5V se utilizan para alimentar otros componentes dentro de la placa y para sacarlos por el pin de 5V.

Además, por cualquiera de estos pines podemos suministrar el mismo voltaje permitiendo así alimentar a la placa además del puerto USB. Eso sí, si alimentamos con 3,3V por alguno de los pines marcados con ese valor, la salida de 5V ya no nos suministrará esos 5V. Esto hay que tenerlo en cuenta si en nuestro proyecto hay sensores que se alimentan con 5V.

LEDs y pulsadores de NodeMCU

El NodeMCU V2 tiene dos LEDs integrados. Cada uno de ellos están asociados a los pines D0 (GPIO16) y D4 (GPIO2). Esto quiere decir que desde el código podremos encender y apagar cada uno de ellos.

Pulsadores integrados dentro de la placa

Además de los Leds la placa tiene dos pulsadores. El típico botón de RESET (RST) que si lo pulsamos se resetea la placa y comienza la ejecución de cero y otro botón que pone FLASH.

El botón de RESET hace eso, resetear. Esto no quiere decir que elimine el código, lo único que hace es comenzar la ejecución desde el principio pasando por la función setup ().

El botón de FLASH nos permite cargar un programa o firmware. Esto no es algo específico de NodeMCU o del ESP8266, todos los microcontroladores tienen como mínimo dos estados.

El estado de ejecución es cuando el microcontrolador ejecuta el programa que hemos cargado. El estado carga de programa o de firmware nos permite subir un programa al microcontrolador.

Ads 1115

El ads1115 es un conversor análogo digital (ADC) externo que podemos conectar a un procesador o en nuestro caso a la tarjeta esp8266 con el fin de medir una cantidad mayor de señales análogas (figura 5.15).

El ADS1115 proporciona 4 ADC de 16 bits, 15 para la medición y un último para el signo. El ADS1115 se conecta por I2C, por lo que es sencillo realizar su lectura. Dispone de 4 direcciones, que se elige mediante la conexión del pin ADDRESS.

El interés de emplear un ADC como el ADS1115 es obtener una mayor precisión, además de liberar de esta carga al procesador. Además, en ciertas configuraciones, es posible medir tensiones negativas.

El ads tiene dos formas de medición single ended y diferencial. En el modo single ended disponemos de cuatro canales de 15 bits. En el modo diferencial usamos dos ADC para cada medición, por lo que el número de canales se reduce a 2, pero se tendrá la ventaja de poder medir tensiones negativas y mayor inmunidad al ruido.

También dispone de un modo comparador en el que el ADS1115 genera una alerta por el pin ALERT cuando cualquiera de los canales supere un valor de umbral que se fija por código.

Por último, el ADS1115 incorpora un PGA que permite ajustar la ganancia desde 6.144v a 0. 256v. esto permite obtener precisiones superiores cuando midamos tensiones inferiores a 5v.

Independiente del PGA elegido la máxima tensión que podemos medir será siempre la tensión de alimentación.

Las características del ADS1115 resultan adecuadas cuando se necesita mediciones de precisión, como lectura de sensores, o cuando la señal pueda tomar valores negativos, como en los sensores de intensidad o tensión.

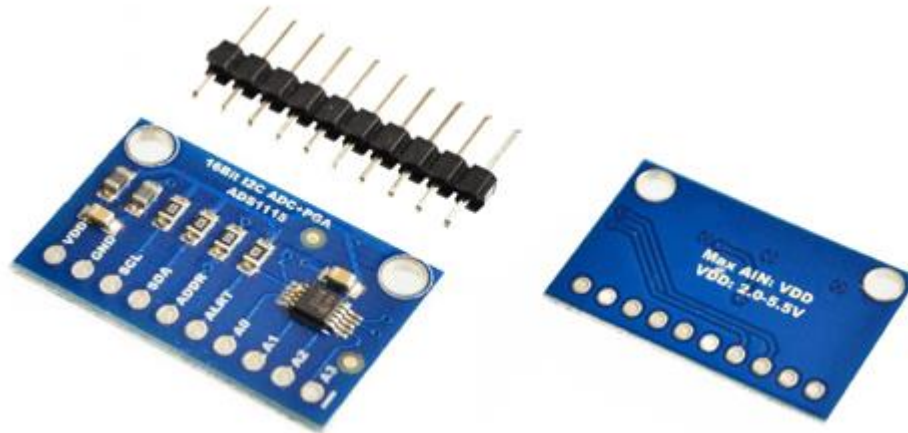


Figura 5.15 ads1115

5.4.3.2 PLC

Un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC (Programmable Logic Controller), se trata de una computadora, utilizada en la ingeniería

automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas. Sin embargo, la definición más precisa de estos dispositivos es la dada por la NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos) que dice que un PLC es: “Instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos”. El campo de aplicación de los PLCs es muy diverso e incluye diversos tipos de industrias. A diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, amplios rangos de temperatura, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto. Los programas para el control de funcionamiento de la máquina se suelen almacenar en baterías copia de seguridad o en memorias no volátiles. Un PLC es un ejemplo de un sistema de tiempo real duro donde los resultados de salida deben ser producidos en respuesta a las condiciones de entrada dentro de un tiempo limitado, que de lo contrario no producirá el resultado deseado. Dentro de las ventajas que estos equipos poseen se encuentran que, gracias a ellos, es posible realizar operaciones en tiempo real, debido a su disminuido tiempo de reacción. Además, son dispositivos que se adaptan fácilmente a nuevas tareas debido a su flexibilidad a la hora de programarlos, reduciendo así los costos adicionales a la hora de elaborar proyectos. Permiten también una comunicación inmediata con otro tipo de controladores y

ordenadores e incluso permiten realizar las operaciones en red. Como ya se ha mencionado previamente, tienen una construcción estable al estar diseñados para poder resistir condiciones adversas sobre vibraciones, temperatura, humedad y ruidos. Son fácilmente programables por medio de lenguajes de programación bastante comprensibles. Sin embargo, presentan ciertas desventajas como la necesidad de contar con técnicos cualificados para ocuparse de su buen funcionamiento [7].

5.4.3.3 Estructura general

La parte principal es la denominada “unidad central de procesamiento” o CPU que contiene la parte de procesamiento del controlador y está basada en un microprocesador que permite utilizar aritmética y operaciones lógicas para realizar diferentes funciones. Además, la CPU, testea también frecuentemente el PLC para lograr encontrar errores en su debido tiempo. La transferencia de datos y/o direcciones en los PLCs es posible gracias a cuatro tipos de buses diferentes:

- bus de datos, para la transferencia de datos de los componentes individuales
- bus de direcciones, para aquellas transferencias entre celdas donde se habían guardado datos
- bus de control, para las señales de control de los componentes internos
- bus de sistema, para conectar los puertos con los módulos de E/S

El lugar donde se guardan los datos y las instrucciones es la memoria que se divide en memoria permanente, PM, y memoria operacional, conocida como memoria de acceso aleatorio o RAM. La primera, la PM, se basa en las ROM, EPROM, EEPROM o FLASH; es donde se ejecuta el sistema de operación del PLC y puede ser reemplazada. Sin embargo, la RAM, es donde se guarda y ejecuta el programa en cuestión utilizado y es la de tipo SRAM la que se utiliza habitualmente. La condición común para las entradas de dos componentes digitales de un PLC se guarda en una parte de la RAM y se denomina tabla PII o entrada imagen de proceso. La salida controlada, o el último valor de la salida calculado por las funciones lógicas, se guardan en la parte de la RAM denominada tabla PIO, salida de la imagen del proceso. El programa utilizado también puede guardarse en una memoria externa permanente (EPROM o EEPROM) que, para ciertos PLCs, puede ser un módulo externo que se coloca en una toma del panel frontal.

Finalmente, los módulos de E/S, son aquellos módulos de señal (SM) que coordinan la entrada y salida de las señales, con aquellas internas del PLC. Estas señales pueden ser digitales (DI, DO) y analógicas (AI, AO), y provienen o van a dispositivos como sensores, interruptores, actuadores, etc. Los SMs analógicos utilizan en general un voltaje en DC y una corriente directa. De este modo, opto acopladores, transistores y relés son empleados en la salida digital del SMs para cambiar los estados de la señal de salida con el fin de proteger a estos dispositivos de

situaciones como un cortocircuito, una sobrecarga o un voltaje excesivo. El número de entradas y/o salidas de los SMs digitales es también bastante más elevado que en los analógicos, siendo los primeros más de 8, 16 o 32, mientras que los segundos son, a lo sumo 8. Finalmente, los términos “Sinking” y “Sourcing” explican cómo se realiza la conexión de las PLC a los sensores y actuadores:

- Sinking = Línea GND común (-) – tierra común
- Sourcing = Línea VCC común (+) – suministro de potencia común

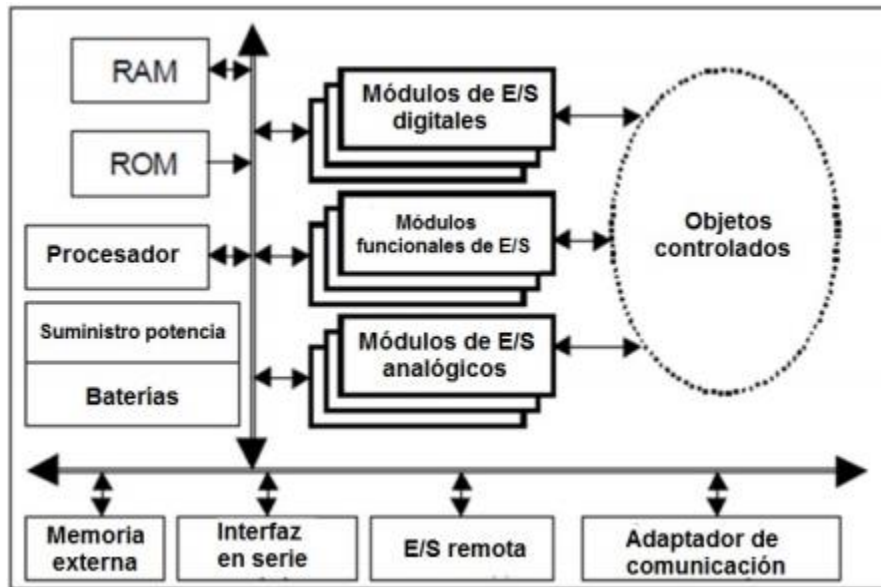


Figura 5.16 Diagrama PLC

5.4.3.4 Tipos de señales utilizadas por los PLC.

Un PLC recibe y transfiere señales eléctricas, expresando así variables físicas finitas (temperatura, presión etc.). De este modo es necesario incluir en el SM un convertidor de señal para recibir y cambiar los valores a variables físicas. Existen tres tipos de señales en un PLC: señales binarias, digitales y analógicas.

- Señales binarias, señal de un bit con dos valores posibles (“0” – nivel bajo, falso o “1” – nivel alto, verdadero), que se codifican por medio de un botón o un interruptor. Una activación, normalmente abre el contacto correspondiendo con el valor lógico “1”, y una no-activación con el nivel lógico “0”. Los límites de tolerancia se definen con interruptores sin contacto. Así el IEC 61131 define el rango de -3 - +5 V para el valor lógico “0”, mientras que 11 - 30 V se definen como el valor lógico de “1” (para sensores sin contacto) a 24 V DC (Fig.12). Además, a los 230 V AC, la IEC 61131 define el rango de 0 – 40 V para el valor lógico de “0”, y 164 – 253 V para el valor lógico “1”.

- Señales digitales, se trata de una secuencia de señales binarias, consideradas como una sola. Cada posición de la señal digital se denomina un bit. Los formatos típicos de las señales digitales son: tetrad – 4 bits (raramente utilizado), byte – 8 bits, word – 16 bits, double word – 32 bits, double long word – 64 bits (raramente utilizado).
- Señales analógicas, son aquellas que poseen valores continuos, es decir,
-
- consisten en un número infinito de valores (ej. en el rango de 0 – 10 V). Hoy en día, los PLCs no pueden procesar señales analógicas reales. De este modo, estas señales deben ser convertidas en señales digitales y viceversa. Esta conversión se realiza por medio de SMs analógicos, que contienen ADC. La elevada resolución y precisión de la señal analógica puede conseguirse utilizando más bits en la señal digital. Por ejemplo, una señal analógica típica de 0 – 10 V puede ser con precisión (pasos para la conversión en una señal digital) desde 0.1 V, 0.01 V o 0.001 V de acuerdo al número de bits que vaya a tener la señal digital.

5.4.3.5 Principio de funcionamiento.

Un PLC funciona cíclicamente:

- Cada ciclo comienza con un trabajo interno de mantenimiento del PLC como el control de memoria, diagnóstico etc. Esta parte del ciclo se ejecuta muy rápidamente de modo que el usuario no lo perciba.
- El siguiente paso es la actualización de las entradas. Las condiciones de la entrada de los SMs se leen y convierten en señales binarias o digitales. Estas señales se envían a la CPU y se guardan en los datos de la memoria.
- Después, la CPU ejecuta el programa del usuario, el cual ha sido cargado secuencialmente en la memoria (cada instrucción individualmente). Durante la ejecución del programa se generan nuevas señales de salida.
- El último paso es la actualización de las salidas. Tras la ejecución de la última parte del programa, las señales de salida (binaria, digital o analógica) se envían a la SM desde los datos de la memoria. Estas señales son entonces convertidas en las señales apropiadas para las señales de los actuadores. Al final de cada ciclo el PLC comienza un ciclo nuevo.

5.4.3.6 PLC CLICK C0_00DR

El PLC que se utilizara en este proyecto de Automatización de la técnica de hidroponía NFT en invernadero, con monitoreo web, es el PLC click C0_00DR (figura 5.17). ya que cumple con los requerimientos para desempeñar el trabajo deseado. Este cuenta con:

- 6 entradas DC y 5 salidas de relé.
- fuente de alimentación de 24VDC.
- puerto de programación RS232 C
- memoria de programa de 8Kbyte

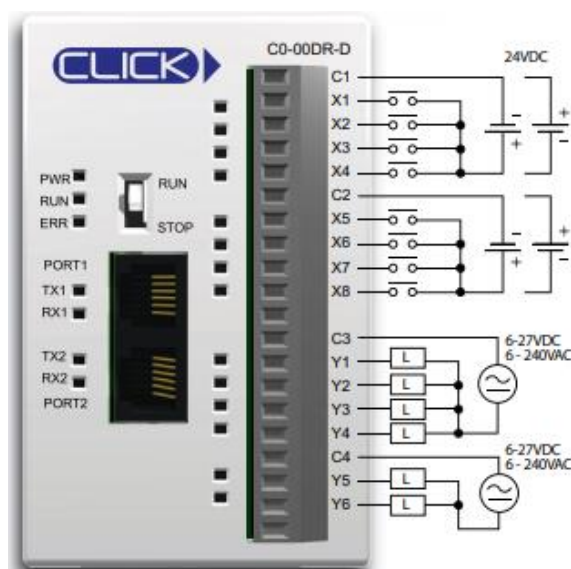


Figura 5.17 PLC CLICK

5.4.3.7 Protocolo MQTT

MQTT son las siglas MQ Telemetry Transport, aunque en primer lugar fue conocido como Message Queuing Telemetry Transport. Es un protocolo de comunicación M2M (machine-to-machine) de tipo message queue.

Está basado en la pila TCP/IP como base para la comunicación. En el caso de MQTT cada conexión se mantiene abierta y se "reutiliza" en cada comunicación. Es una diferencia, por ejemplo, a una petición HTTP 1.0 donde cada transmisión se realiza a través de conexión.

MQTT fue creado por el Dr. Andy Stanford-Clark de IBM y Arlen Nipper de Arcom (ahora Eurotech) en 1999 como un mecanismo para conectar dispositivos empleados en la industria petrolera.

Aunque inicialmente era un formato propietario, en 2010 fue liberado y pasó a ser un estándar en 2014 según la OASIS (Organization for the Advancement of Structured Information Standards) [5].

¿CÓMO FUNCIONA EL MQTT?

El funcionamiento del MQTT es un servicio de mensajería push con patrón publicador/suscriptor (pub-sub). En este tipo de infraestructuras los clientes se conectan con un servidor central denominado broker.

Para filtrar los mensajes que son enviados a cada cliente los mensajes se disponen en topics organizados jerárquicamente. Un cliente puede publicar un mensaje en un determinado topic. Otros clientes pueden suscribirse a este topic, y el broker le hará llegar los mensajes suscritos (figura 5.18).

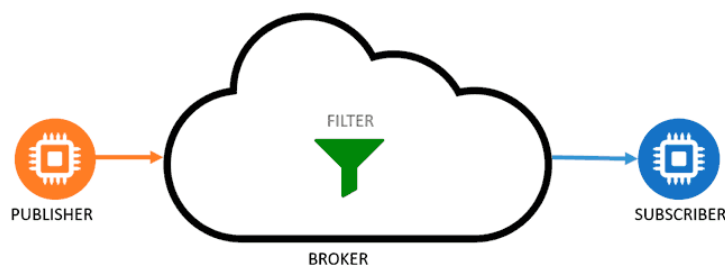


Figura 5.18 Filtrado

Los clientes inician una conexión TCP/IP con el broker, el cual mantiene un registro de los clientes conectados. Esta conexión se mantiene abierta hasta que el cliente la finaliza. Por defecto, MQTT emplea el puerto 1883 y el 8883 cuando funciona sobre TLS.

Para ello el cliente envía un mensaje CONNECT que contiene información necesaria (nombre de usuario, contraseña, client-id...). El broker responde con un mensaje CONNACK, que contiene el resultado de la conexión (aceptada, rechazada) (figura 5.19).

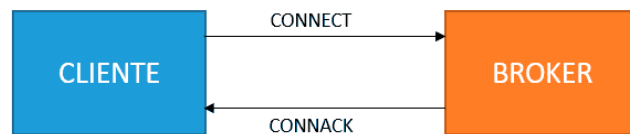


Figura 5.19 conexión

Para enviar los mensajes el cliente emplea mensajes PUBLISH, que contienen el topic y el payload (figura 5.20).



Figura 5.20 mensajes

Para suscribirse y de suscribirse se emplean mensajes SUBSCRIBE y UNSUBSCRIBE, que el servidor responde con SUBACK y UNSUBACK (figura 5.21).

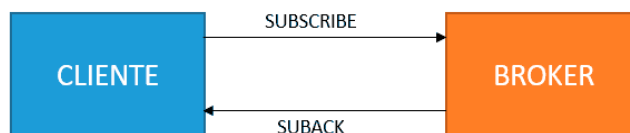


Figura 5.21 suscripción

Para asegurar que la conexión está activa los clientes mandan periódicamente un mensaje PINGREQ que es respondido por el servidor con un PINGRESP. Finalmente, el cliente se desconecta enviando un mensaje de DISCONNECT.

Estructura del mensaje MQTT

Uno de los componentes más importantes del protocolo MQTT es la definición y tipología de los mensajes, ya que son una de las bases de la agilidad en la que radica su fortaleza (figura 5.22). Cada mensaje consta de 3 partes:

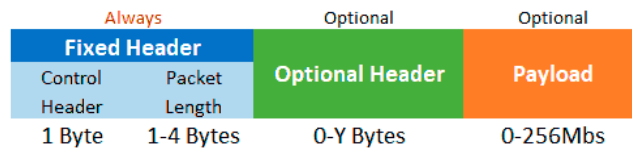


Figura 5.22 tipología protocolo MQTT

- **Cabecera fija.** Ocupa 2 a 5 bytes, obligatorio. Consta de un código de control, que identifica el tipo de mensaje enviado, y de la longitud del mensaje. La longitud se codifica en 1 a 4 bytes, de los cuales se emplean los 7 primeros bits, y el último es un bit de continuidad.
- **Cabecera variable.** Opcional, contiene información adicional que es necesaria en ciertos mensajes o situaciones.
- **Contenido(payload).** Es el contenido real del mensaje. Puede tener un máximo de 256 Mb aunque en implementaciones reales el máximo es de 2 a 4 kB.

Calidad de servicio (QoS)

MQTT dispone de un mecanismo de calidad del servicio o QoS, entendido como la forma de gestionar la robustez del envío de mensajes al cliente ante fallos (por ejemplo, de conectividad).

MQTT tiene tres niveles QoS posibles:

- QoS 0 unacknowledged (at most one): El mensaje se envía una única vez. En caso de fallo por lo que puede que alguno no se entregue.
- QoS 1 acknowledged (at least one): El mensaje se envía hasta que se garantiza la entrega. En caso de fallo, el suscriptor puede recibir algún mensaje duplicados.
- QoS 2 assured (exactly one). Se garantiza que cada mensaje se entrega al suscriptor, y únicamente una vez.

Usar un nivel u otro depende de las características y necesidades de fiabilidad de nuestro sistema. Lógicamente, un nivel de QoS superior requiere un mayor intercambio mayor de mensajes de verificación con el cliente y, por tanto, mayor carga al sistema.

Seguridad en MQTT

La seguridad siempre debe ser un factor importante a considerar en cualquier sistema de comunicación M2M. El protocolo MQTT dispone de distintas medidas de seguridad que podemos adoptar para proteger las comunicaciones.

Esto incluye transporte SSL/TLS y autenticación por usuario y contraseña o mediante certificado. Sin embargo, hay que tener en cuenta que muchos de los dispositivos IoT disponen de escasa capacidad, por lo que el SLL/TLS puede suponer una carga de proceso importante.

En muchos casos, la autenticación consiste en una contraseña y usuario que son enviados como texto plano. Por último, también es posible configurar el broker para aceptar conexiones anónimas.

Todo esto debe ser tenido en cuenta a la hora de configurar un sistema MQTT, y entender los riesgos de cada uno de ellos, así como su impacto en la eficiencia del sistema.

Ventajas de MQTT

Son varias las ventajas del protocolo MQTT como sistema de comunicación M2M. Por un lado, tenemos todas las ventajas del patrón pub/sub que vimos en la entrada anterior, como son escalabilidad, asincronismo, desacoplamiento entre clientes.

Además, MQTT aporta una serie de características que le han hecho sobre salir sobre otros competidores. La principal, es su sencillez y ligereza. Esto lo hace adecuado para aplicaciones IoT, donde frecuentemente se emplean dispositivos de escasa potencia.

Además, esto menor necesidad de recursos se traduce en un menor consumo de energía, lo cual es interesante en dispositivos que funcionan 24/7 y muy especialmente en dispositivos alimentados por batería.

Otra consecuencia de la ligereza del protocolo MQTT es que requiere un ancho de banda mínimo, lo cual es importante en redes inalámbricas, o conexiones con posibles problemas de calidad.

Por último, MQTT dispone de medidas adicionales importantes, como la seguridad y calidad del servicio (QoS). Por último, es una solución largamente testada y consolidada, que aporta robustez y fiabilidad [5].

Adafruit IO

Adafruit.io es un servicio en la nube, puede conectarse a través de Internet. Está destinado principalmente para almacenar y luego recuperar datos, ¡pero puede hacer mucho más que eso. [6]

- Muestra datos en tiempo real, en línea
- Puede tener un proyecto conectado a Internet: controlar motores, leer datos de sensores y mucho más.
- Conectar proyectos a servicios web como Twitter, canales RSS, servicios meteorológicos, etc.
- Conectar proyectos a otros dispositivos con acceso a internet

Tableros

Adafruit.io puede manejar y visualizar múltiples fuentes de datos. Si deseas mostrar datos de un sensor de temperatura y humedad junto con datos de un sensor de calidad de aire y agregar un botón de encendido del aire acondicionado

Los paneles son una característica integrada en Adafruit IO que le permite trazar, graficar, medir, registrar y mostrar datos. Puede ver los paneles de control desde cualquier parte del mundo ver (figura 5.23).

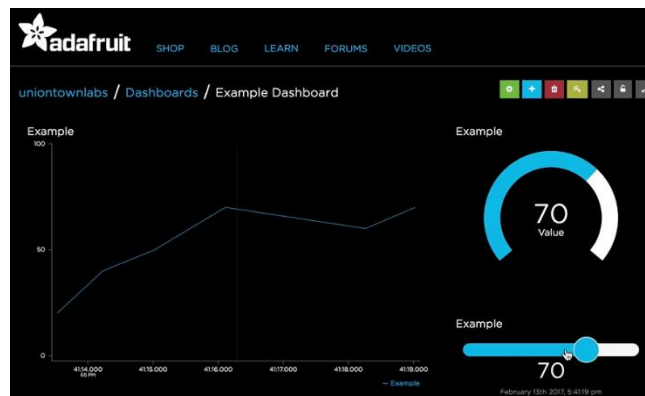


Figura 5.23 paneles de control

Disparadores

Use disparadores en Adafruit IO para controlar y reaccionar a sus datos. Configure los disparadores para enviarle un correo electrónico cuando su sistema se desconecte, reaccione a un sensor de temperatura que se calienta demasiado y publique un mensaje en una nueva fuente.

PARTE III.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

6 CONCEPCIÓN DEL SISTEMA

El cultivo hidropónico de lechuga en invernadero, debe cumplir las condiciones anteriormente mencionadas de un cultivo NFT, un invernadero y las especificaciones propias de la hortaliza, uniendo estos tres sistemas se obtiene uno en el cual hay que controlar y monitorear el caudal y el tiempo de riego, las condiciones climáticas tales como la humedad relativa y la temperatura, el PH, electro conductividad y temperatura de la solución nutritiva, además el nivel del tanque que contiene dicha solución. Estos son los parámetros básicos para el correcto funcionamiento del sistema, pero hay que tener en cuenta que se va a tratar con lechugas, como toda hortaliza tiene su tiempo de germinación, siembra y cosecha, estos tiempos también son importantes y deben tenerse en cuenta, además de los elementos que componen la solución nutritiva, puesto que no son los mismos para todas las plantas. Estas serán las variables controladas y mostradas al usuario, acá entra otro punto importante en el sistema la visualización, esto se hará con a través de un enlace web, con el que el usuario podrá ver el valor de las variables y además realizar ciertas acciones sobre el cultivo como prenderlo y apagarlo ver (figura 6.1).

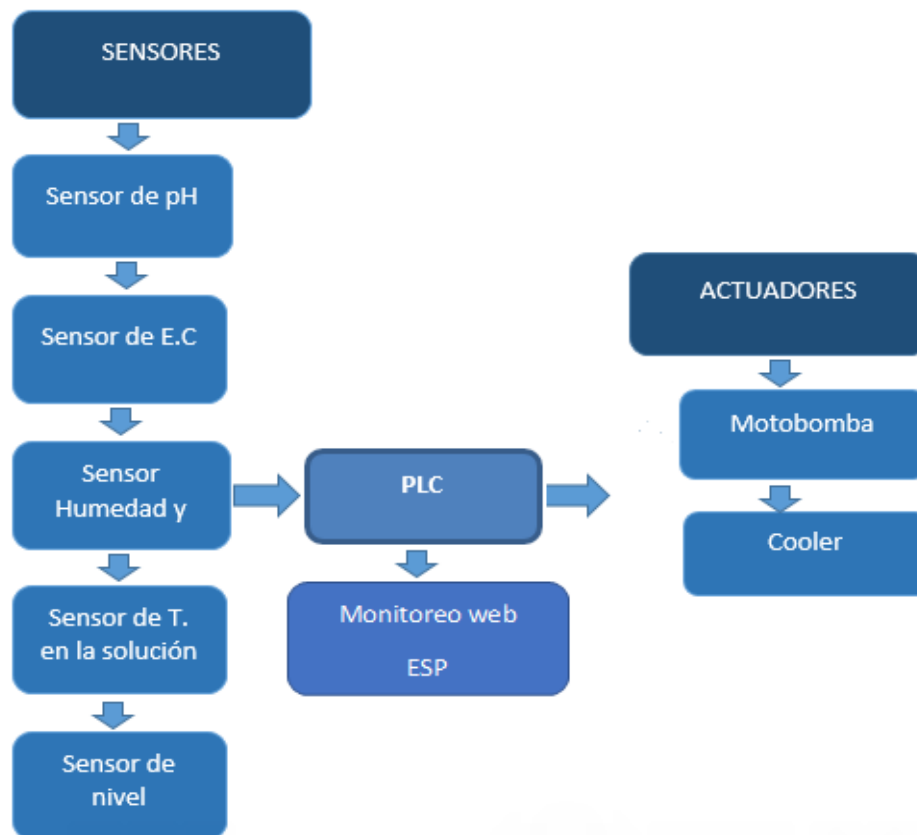


Figura 6.1 Diagrama de bloques del sistema hidropónico

7 DISEÑO DEL SISTEMA

Como se ha indicado el sistema NFT ver (figura 7.1), trata de una leve película de agua que circula suavemente por los ductos periódicamente, para ello se debe asegurar un caudal, de acuerdo a estudios realizados el caudal necesario dentro de los ductos por donde circula la solución nutritiva se asegura con la pendiente de estos, esta debe ser del 2% de su longitud. Se tiene tubos de un metro y medio de longitud y un diámetro de tres pulgadas ver (tabla 7.1).

$$\text{Pendiente} = \text{Longitud} * 0.02$$

$$\text{Pendiente} = 1.5 * 0.02 = 0.03$$

Longitud(m)	Diámetro(inch)	Pendiente o inclinación(m)
1.5	3	0.03

Tabla 7.1 Ductos del sistema

Con la ecuación de la recta se identifica los puntos donde deben de ir anclados los extremos de los tubos.



$$\begin{aligned}(y - 1) &= -0.03(x - 0) \\ y &= (-0.03 * 1.5) + 1 \\ y &= 0.955\end{aligned}$$

Para tener un ahorro energético y un flujo natural y suave, se diseñó un sistema con un riego por gravedad, donde se abrirá una electroválvula de acuerdo a los tiempos dados por el riego. Al ser un prototipo pequeño la presión dada por el tanque no es la suficiente para romper la membrana de una electroválvula, por lo que se utilizará una pequeña motobomba de pecera (M1) simulando dicho elemento.

La automatización del sistema será la siguiente:

El sistema inicia cuando START se oprime y si PARO se oprime todo el sistema se detiene, en ambas situaciones se manda una alerta indicando encendido o apagado.

RIEGO:

Cada 2 horas se debe prender M1 durante 5 minutos, si N2 se activa se debe prender M2 hasta activar N1 (N1 y N2 son el nivel máximo y mínimo del tanque 1 (T1)) o N3 se active (nivel mínimo del tanque 2 (T2)).

FUNCIONAMIENTO GENERAL:

Las variables PH y E (electro conductividad) tienen una relación directa puesto que se controlan de la misma manera de este modo si $PH > PH_{max}$ o $E > E_{max}$ se debe prender M3 hasta que $PH < PH_{max}$ y $E < E_{max}$, lo mismo ocurre con el valor mínimo de estas variables, pero activando M4. En ambos casos si N1 es activado se prende M1 y se apagará en el momento que M3 o M4 se apaguen. Por otro lado, si N4 (nivel tanque 3 (T3)) se activa se debe apagar M3 (en el caso de que este activada), mandar una alerta, lo mismo ocurre en T4, si N5 se activa se debe apagar M4 (si esta prendida), mandar una alerta.

La variable temperatura (T) de la solución nutritiva es una variable sólo de monitoreo puesto que en la zona donde se trabaja se considera que siempre se encontrará dentro del rango deseado, no obstante, se tendrá en cuenta previniendo algún hecho fuera de lo normal, para ellos se manejará un rango $T_{min} < T < T_{max}$, en el caso tal de que T se encuentre fuera de él se debe enviar una alerta.

ALERTAS:

El sistema maneja alertas por telemetría, y se tienen algunas alertas diferentes a las relacionadas con el funcionamiento general del sistema, estas alertas son dadas cuando N2 y N3 están activas, en caso tal se debe enviar la alerta, si $PH > PH_{max}$ o $E > E_{max}$ y N4 está activa se envía la alerta, si $PH < PH_{min}$ o $E < E_{min}$ y N5 activa se envía la alerta ver (tabla 7.2).

SALIDAS:

- M1: motobomba de riego
- M2: motobomba de abastecimiento
- M3: motobomba de agua
- M4: motobomba de solución nutritiva concentrada
- EXT: Extractor
- INT: Intractor

ENTRADAS:

- N1: nivel máximo de T1
- N2: nivel mínimo de T1
- N3: nivel mínimo de T2
- N4: nivel mínimo de T3
- N5: nivel mínimo de T4
- START: botón de arranque
- PARO: botón de paro
- PH: sensor PH
- E: sensor electro conductividad

Entrada	Rango	Valor	Salida rango superado
PH	PHmax	6.5	M2
	PHmin	6	M3
Electroconductividad	E _{max}	1.6	M2
	E _{min}	1.3	M3

Tabla 7.2 Rangos PH y Electroconductividad

T: sensor temperatura solución nutritiva, es una variable que no se tiene como prioridad en estos cultivos, o al menos no en Colombia, puesto que la tempera debe ser mayor a los quince grados centígrados, lo cual no es problema en nuestra región. Es de mayor importancia asegurar que la sustancia se encuentre en un contenedor negro que evite el contacto con los rayos del sol; a pesar de ello dicha variable será monitoreada y generará una acción de alerta ver (tabla 7.3).

Entrada	Valor	Salida
Temperatura	>15	Alerta

Tabla 7.3 Temperatura solución nutritiva

Tabla 7.4 Temperatura y HR ambiente

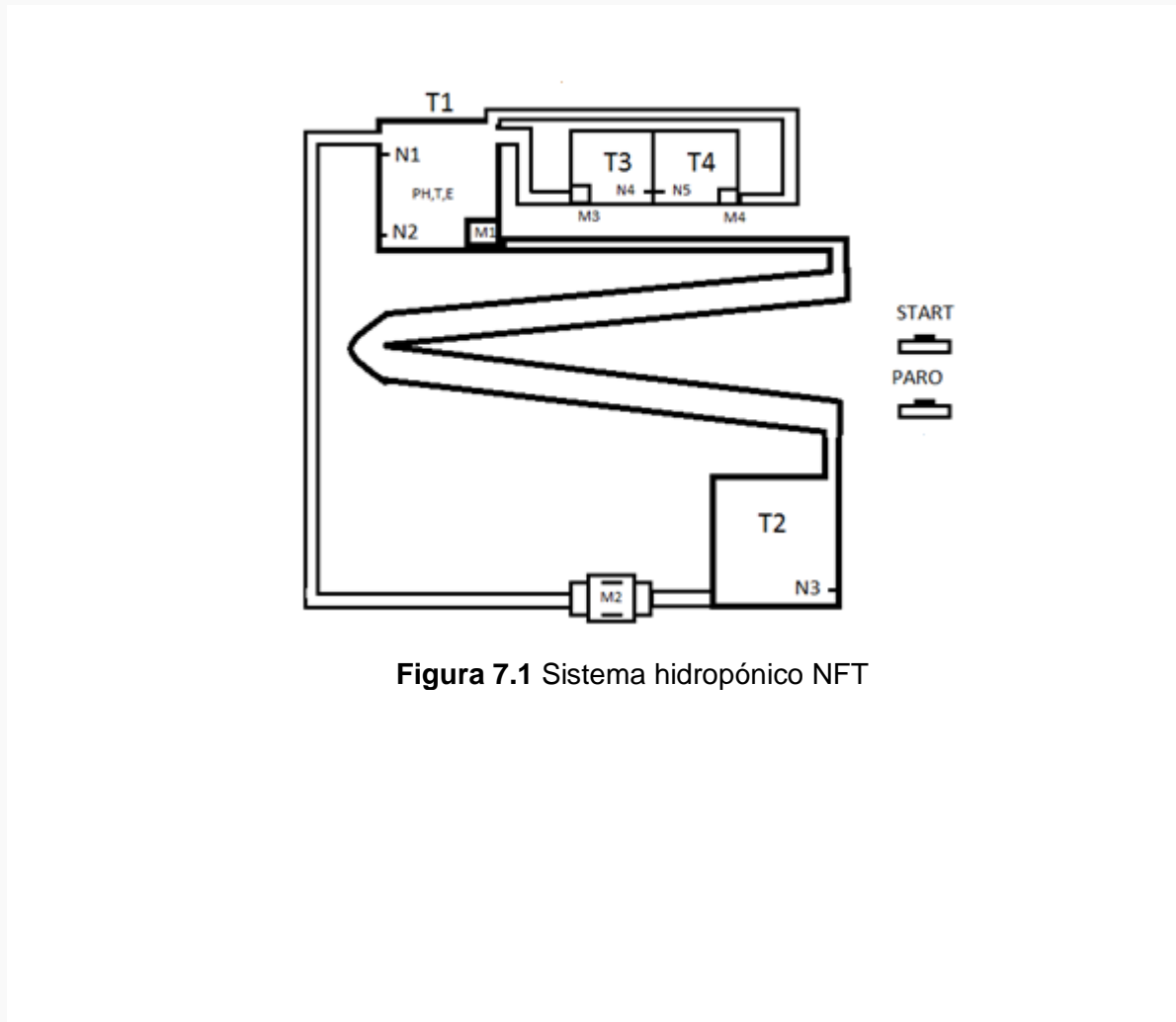


Figura 7.1 Sistema hidropónico NFT

8 IMPLEMENTACIÓN

En este capítulo se desarrolla el diseño del sistema de cultivo hidropónico y los diferentes componentes que intervienen en él, para esto se divide en dos partes, la primera se basa en el montaje el cual se compone por los sensores de nivel, conductividad eléctrica, pH, temperatura de la solución, temperatura y humedad relativa del ambiente, así como también de los actuadores como las motobombas, ventiladores además de los dispositivos programables; y la segunda parte se basa en la lógica de programación en el cual está basado en el sistema hidropónico.

8.1 Montaje

En la (figura 8.1.1) se muestra el diseño propuesto para la estructura del sistema hidropónico, su montaje se muestra en la figura (8.1.2 – 8.1.3) esta estructura está hecha en madera, los canales por donde va a fluir la solución nutritiva están hechos con tubos de pvc en tramos de 1.5 metros distribuidos en cuatro niveles con una pendiente del 2% para que el agua no se acumule en las esquinas, las lechugas están ubicadas sobre cada canal y están separadas una de otra 21 centímetros; también se colocaron unas borneras distribuidas en la estructura con una alimentación de 110 voltios con la finalidad de proveer alimentación a los actuadores y a través de unos regulador de voltaje proveer alimentación a los sensores; se utilizaron dos tanques o canecas de 30 litros, el primer tanque para recolectar la solución nutritiva que cae de los canales y posteriormente devolver la solución a través de tubos de 1 pulgada al segundo contenedor o tanque principal que es el encargado de almacenar la solución para realizar el riego. Sobre la estructura se ubican los diferentes tipos de sensores, el sensor de temperatura y humedad relativa se ubica enseguida de la caja principal ver (figura 8.1.4), el sensor de ph, temperatura de la solución y electroconductividad se ubican en el tanque colector T2 ver (figura 8.1.5), los sensores de nivel se ubican en sus respectivos tanques, todos estos sensores van conectados a un controlador el cual se encuentra ubicado en la parte superior de la estructura en un caja de paso ver (figura 8.1.6), su función es analizar los valores para posteriormente dar inicio a los actuadores con la finalidad de tener un sistema estable. A parte de la estructura va el invernadero, el sistema se montó en un patio cerrado que cumple la función del invernadero, se colocaron dos ventiladores haciendo las veces de intractor y extractor en una pequeña ventana que tiene el lugar con el fin de generar una circulación de aire que mantenga las condiciones ambientales deseadas.

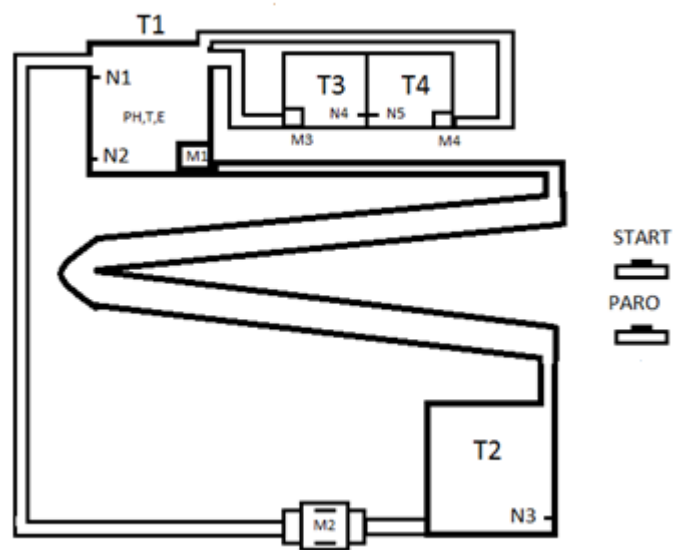


Figura 8.1.1 Modelo del sistema



Figura 8.1.2 Sistema implementado



Figura 8.1.3 sensor DTH11

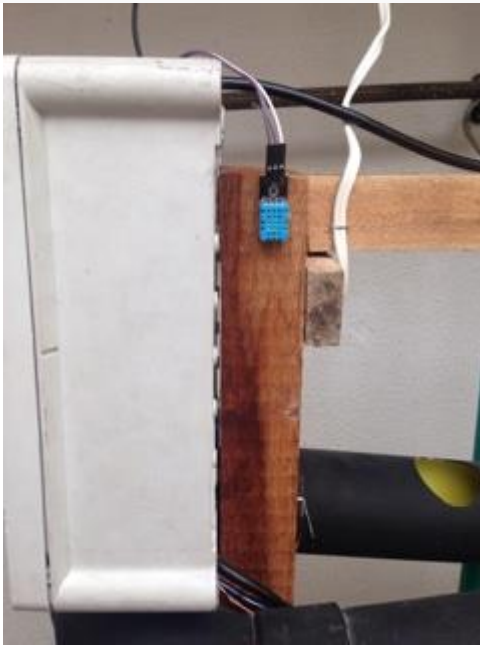


Figura 8.1.4 sensor DTH11



Figura 8.1.6 caja de control del sistema



Figura 8.1.5 sensor de PH y E.C

8.2 Programación

La programación está dividida en varias secciones, la primera es el control la cual abarca la parte de adquisición de datos, procesamiento y actuación, la segunda son las alertas y la tercera la visualización ver figura (8.2.1)

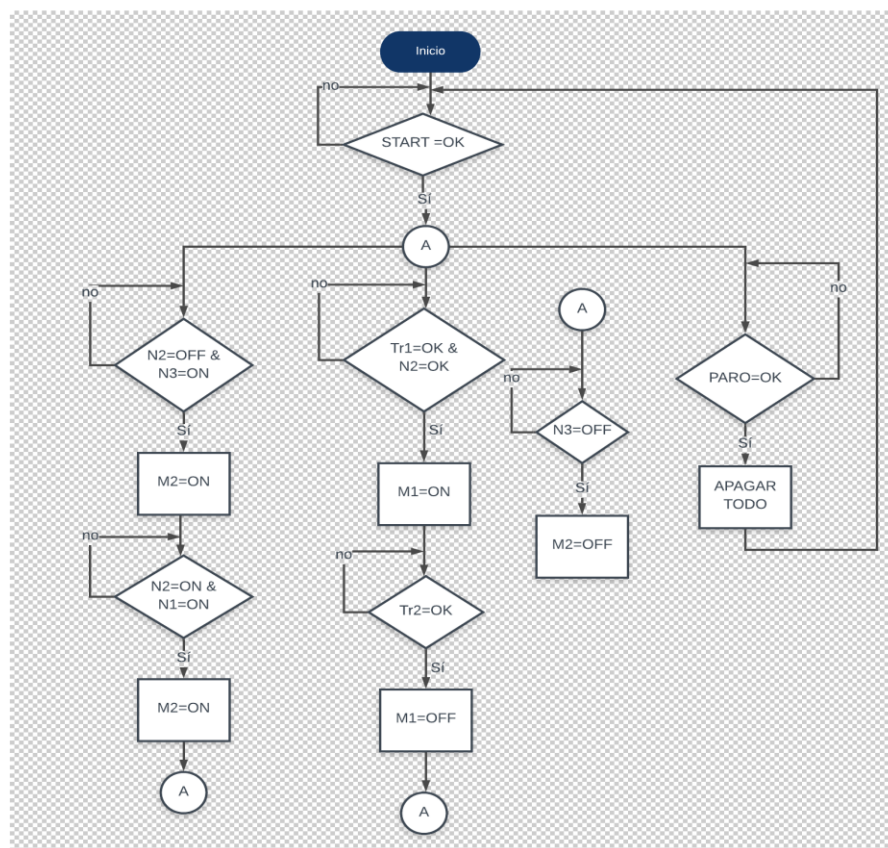


Figura 8.2.1 Diagrama de flujo programación PLC

Para la automatización del sistema se utilizará un PLC en combinación con un ESP, estos dos elementos se comunicaran a través del protocolo MODBUS RTU, el cual es un sistema de maestro-esclavo, situado en la capa física del modelo OSI, que puede implementarse en RS232 y RS485; este protocolo se trabaja con una trama que es la misma para el maestro y el esclavo, solo que el espacio de dato lleva diferente información dependiendo del rol tal como se indica a continuación ver (tabla 8.2.1).

Trama general				
ID	FUNCION	DATO		CRC
Trama maestro				
ID	FUNCION	DIRECCION	LONGITUD	CRC
Trama esclavo				
ID	FUNCION	#BYTES RESPUESTA	RESPUESTA	CRC

Tabla 8.2.1 Trama MODBUS

Las funciones se muestran en la Tabla 8.2 en este caso se utilizarán las de leer y escribir coils y leer entradas discretas. En esta parte de la programación el PLC se encargará de realizar acciones de acuerdo a ciertas entradas que tiene y otras de acuerdo a las órdenes dadas por el ESP. Aquí entra la primera parte de la programación, el PLC que se dispone de 8 entradas discretas en las cuales se pondrán los cinco niveles y los botones START y PARO además tiene 6 salidas de relé a las que van conectadas las salidas anteriormente mencionadas, en este elemento por medio de programación en ladder se generarán las acciones respectivas a dichas entradas, por otro lado en el ESP van conectadas las demás entradas, las cuales son entradas análogas obtenidas con el ADS1115 debido a que este dispositivo solo posee una entrada análoga, estas son leídas, procesadas y almacenadas y de acuerdo a los parámetros y rangos dados por el sistema NFT se utilizarán las funciones respectivas del protocolo MODBUS para indicarle al PLC que salida activar o desactivar, de acuerdo a la tabla de entradas y salidas PLC ver (Tabla 8.2.3).

				Function Codes		(hex)	Section	
				code	Sub code			
Data Access	Bit access	Physical Discrete Inputs	Read Discrete Inputs	02		02	6.2	
		Internal Bits Or Physical coils	Read Coils	01		01	6.1	
			Write Single Coil	05		05	6.5	
			Write Multiple Coils	15		0F	6.11	
	16 bits access	Physical Input Registers	Read Input Register	04		04	6.4	
		Internal Registers Or Physical Output Registers	Read Holding Registers	03		03	6.3	
			Write Single Register	06		06	6.6	
			Write Multiple Registers	16		10	6.12	
			Read/Write Multiple Registers	23		17	6.17	
			Mask Write Register	22		16	6.16	
			Read FIFO queue	24		18	6.18	
				Read File record	20		14	6.14
	File record access		Write File record	21		15	6.15	
	Diagnostics			Read Exception status	07		07	6.7
				Diagnostic	08	00-18,20	08	6.8
				Get Com event counter	11		0B	6.9
Get Com Event Log				12		0C	6.10	
Report Server ID				17		11	6.13	
Read device Identification				43	14	2B	6.21	
Other			Encapsulated Interface Transport	43	13,14	2B	6.19	
			CANopen General Reference	43	13	2B	6.20	

Tabla 8.2.2 Funciones MODBUS

TABLA ENTRADAS Y SALIDAS PLC			
Nombre	Señal en el PLC		Dirección MODBUS
	Entrada	Salida	
START	X001		100001
PARO	X002		100002
N1	X003		100003
N2	X004		100004
N3	X005		100005
N4	X006		100006
N5	X007		100007
M1		Y001	8193
M2		Y002	8194
M3		Y003	8195
M4		Y004	8196
EXTRACTOR		Y005	8197
INSTRUCTOR		Y006	8198

Tabla 8.2.3 Entradas y salidas del PLC

La segunda parte se realiza en el ESP, pero este por medio de las funciones de MODBUS cada tiempo t le consulta el estado de las entradas al PLC, dichos estados los almacena en unas variables al igual que los valores de las entradas análogas que tiene, de acuerdo a los valores de las variables anteriormente mencionadas se tendrán una serie de casos dados por el numeral 7 ver (Tabla 8.2.4 – 8.2.5), en donde cada caso generará una alerta.

RXD0	GPIO3	Comunicación serial PLC
TXD0	GPIO1	Comunicación serial PLC
D3	GPIO0	Sensor de nivel T1
D4	GPIO2	Sensor de nivel T1
D5	GPIO14	Sensor de nivel T2
D6	GPIO12	Sensor de nivel T3
D7	GPIO13	Sensor de nivel T4
D8	GPIO15	Sensor DHT
A0	ADC0	Sensor de temperatura
D1	GPIO5	SCL ADS
D2	GPIO4	SDA ADS

Tabla 8.2.4 Entradas y salidas del esp

A0	Analog input 0	Sensor de ph
A1	Analog input 1	Sensor electroconductividad
SCL	12CSCL	Comunicación esp
SDA	12CSDA	Comunicación esp

Tabla 8.2.5 Entradas y salidas del ADS

La tercera parte también se realiza en el ESP, en donde apoyándose de las variables que crea y actualiza la parte dos, las visualizará en la plataforma de ADAFRUIT utilizando el protocolo MQTT, el cual es un protocolo de suscriptor y publicador, por medio de un intermediario el publicador envía datos con un tema o etiqueta establecida, dichos datos llegarán a todo aquel que se encuentre dentro de la red y esté suscrito al tema o etiqueta, de esta manera el ESP será el publicador de los datos del sistema y la plataforma será el suscrito, obteniendo y visualizando las distintas variables del cultivo.

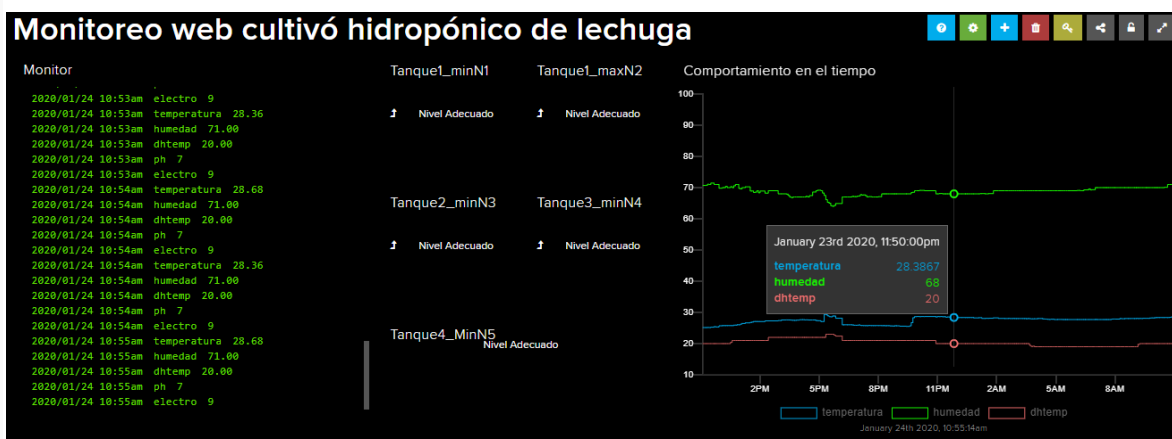


Figura8.2.3 visualización web cultivo

Figura8.2.4 niveles de los tanques



Figura8.2.5 monitor web cultivo hidropónico de lechuga

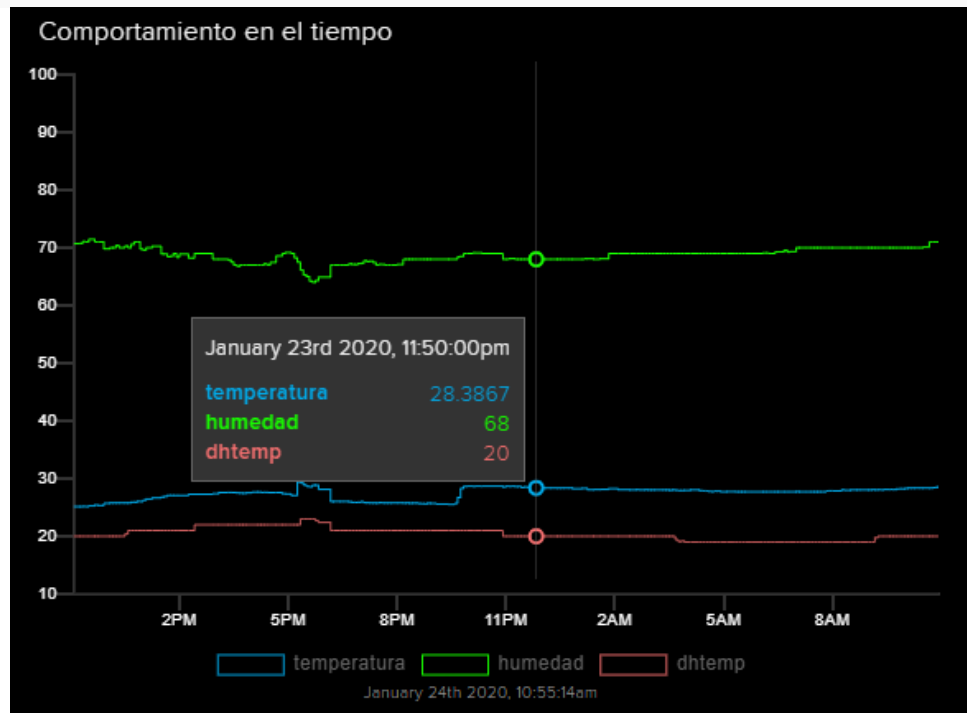


Figura8.2.6 comportamiento en el tiempo variables del cultivo

8.3 Análisis:

Para realizar el análisis del Sistema se tomaron mediciones de las variables en lapsos de tiempo pertinentes para ver resultados deseados, para la temperatura se tomó durante el año 2019 ver (Tabla8.3.1), puesto que se debe conocer el comportamiento durante las diferentes estaciones del año, para las otras variables se tomó un mes en donde se puedan ver los resultados más adversos como es el mes de enero del 2020.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
T min °C	13,2	13,5	14,5	14,3	14,4	14	13,8	13,8	13,5	13,2	13,4	13,3
T max °C	24	24,1	23,8	23,8	23	23,2	24	23,8	23,8	23,2	22,7	23,2
T media °C	18	18,8	19,1	18,8	18,7	18,6	18,9	18,8	18,8	18,3	18	18,2

Tabla 8.3.1 temperatura 2019

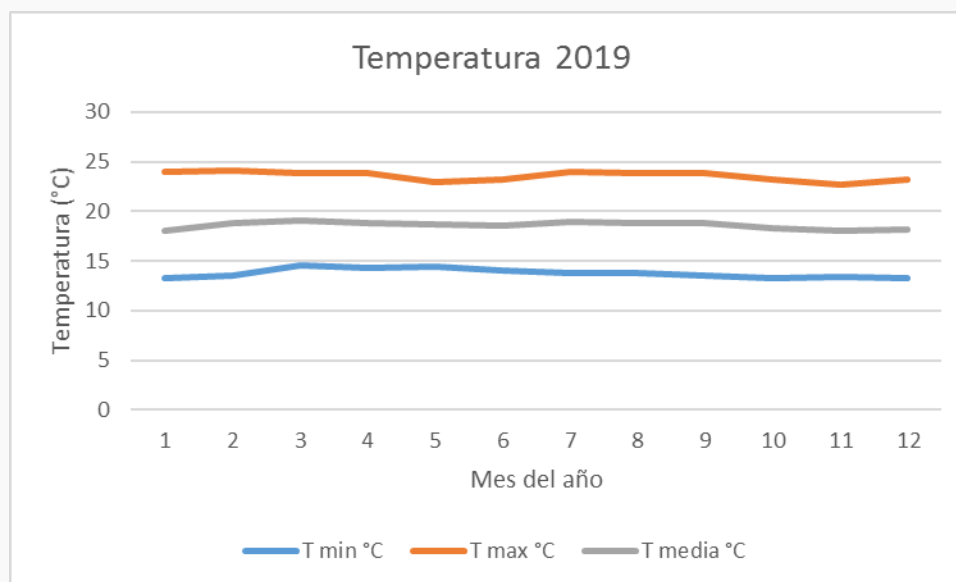


Figura 8.3.1 grafica de temperatura 2019

La temperatura ambiente debe estar en un rango de 8 a 25°C, La media del año fue de 18.6°C ver (Figura8.3.1), el valor mínimo fue de 13.2°C y el máximo de 24.1°C, la temperatura siempre mantuvo dentro del rango, pero estuvo cerca del valor máximo.

A pesar de que siempre se mantuvo dentro del rango hay que tener en cuenta un factor que influye bastante en los resultados, la humedad en Santa Rosa de Cabal es bastante alta, esta se ve reflejada en las paredes la cual hace que las variables climáticas cambien un poco dentro de los recintos que al aire libre, por ello mantener las condiciones climáticas en un invernadero al aire libre cambiaran un poco que en un cuarto aislado como invernadero como se realizó en este proyecto, sin embargo realizando un análisis de los resultados obtenidos y el clima en la ciudad se determina que la temperatura no sería un problema para dicho cultivo necesitando de breves intervenciones para mantenerse en el rango necesario, pero es algo diferente con la humedad relativa ver (Tabla 8.3.2) el rango esta entre 60 y 90 % y a pesar que la media es de 70.4% ver (figura 8.3.2), está si llega mucho al valor máximo y mínimo necesitando de la intervención para mantenerse dentro del rango, pero teniendo un flujo de aire se puede mantener la variable dentro de los valores deseados, es oportuno mencionar que en el proceso de investigación se encontró que en Colombia estas dos variables no son tenidas en cuenta por los agricultores o no son controladas y en general no tienen grandes repercusiones sobre los cultivos, pocos utilizan invernaderos y someten los cultivos a las condiciones naturales, sin embargo el motivo de usar un invernadero más que por controlar la temperatura y la humedad relativa es recomendado para tener un sistema aislado evitando plagas y el poder mantener las condiciones ambientales necesarias para el cultivo es un factor a favor.

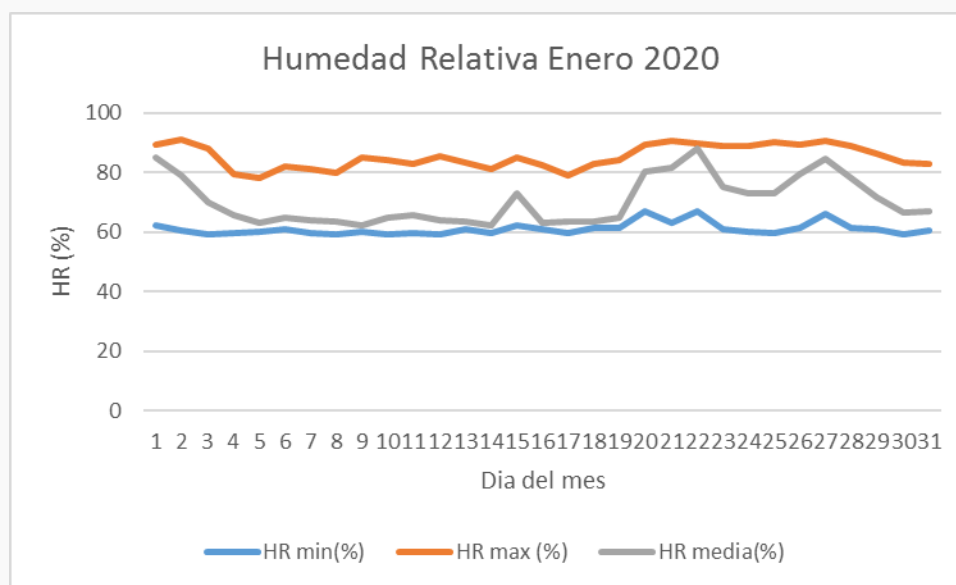


Figura 8.3.2 grafica de humedad relativa 2020

Dia	HR min(%)	HR max (%)	HR media(%)
1	62,3	89,2	85
2	60,3	91	78,8
3	59,2	88	70,1
4	59,6	79,2	65,5
5	60	78,2	63
6	61	82	65
7	59,5	81,2	64
8	59	80	63,4
9	60	85,2	62
10	59,2	84,3	65
11	59,6	82,7	65,5
12	59	85,3	64
13	61	83,4	63,4
14	59,7	81	62
15	62,1	85,2	73
16	60,8	82,3	63
17	59,7	79	63,4
18	61,3	83	63,4
19	61,3	84	65
20	67	89,5	80,2
21	63,2	90,5	81,4
22	67,1	89,7	88
23	61	88,7	75,3
24	60,2	89	73
25	59,7	90,1	72,8
26	61,2	89,4	79,2
27	66,2	90,5	84,7
28	61,4	88,8	78
29	60,8	86,4	71,6
30	59,4	83,1	66,7
31	60,7	83	67,1

Tabla 8.3.2 humedad relativa enero 2020

Por otro lado, están las variables que corresponden a la solución nutritiva, estas son la temperatura, el PH y la electroconductividad, estas variables tuvieron una respuesta muy satisfactoria, empezaremos con el PH y la electroconductividad ver (tabla 8.3.2) (Figura 8.33 – 8.3.4)

Dia	PH min	PH max	PH media	E min	E max	E media
1	6,2	6,2	6,2	1,4	1,6	1,5
2	6,2	6,3	6,2	1,4	1,5	1,5
3	6,2	6,2	6,2	1,4	1,5	1,5
4	6,2	6,3	6,2	1,5	1,6	1,5
5	6,2	6,3	6,3	1,4	1,4	1,4
6	6,2	6,2	6,2	1,4	1,5	1,5
7	6,2	6,2	6,2	1,5	1,5	1,5
8	6,2	6,3	6,2	1,5	1,5	1,5
9	6,3	6,3	6,3	1,5	1,5	1,5
10	6,2	6,2	6,2	1,4	1,6	1,5
11	6,2	6,2	6,2	1,4	1,5	1,5
12	6,2	6,3	6,2	1,5	1,5	1,5
13	6,2	6,2	6,3	1,4	1,4	1,4
14	6,3	6,3	6,3	1,4	1,5	1,5
15	6,2	6,2	6,2	1,4	1,4	1,4
16	6,2	6,3	6,3	1,4	1,6	1,5
17	6,2	6,2	6,2	1,4	1,4	1,4
18	6,2	6,2	6,2	1,5	1,5	1,5
19	6,2	6,2	6,2	1,5	1,5	1,5
20	6,2	6,2	6,2	1,5	1,5	1,5
21	6,2	6,3	6,3	1,4	1,6	1,5
22	6,2	6,2	6,2	1,4	1,5	1,5
23	6,2	6,2	6,2	1,5	1,5	1,5
24	6,2	6,2	6,2	1,4	1,6	1,4
25	6,2	6,2	6,2	1,4	1,5	1,5
26	6,2	6,3	6,3	1,4	1,5	1,5
27	6,2	6,2	6,2	1,4	1,5	1,5
28	6,3	6,4	6,3	1,5	1,5	1,5
29	6,2	6,3	6,2	1,4	1,5	1,5
30	6,2	6,2	6,2	1,4	1,5	1,5
31	6,2	6,3	6,2	1,5	1,5	1,5

Tabla 8.3.3 PH y Electroconductividad

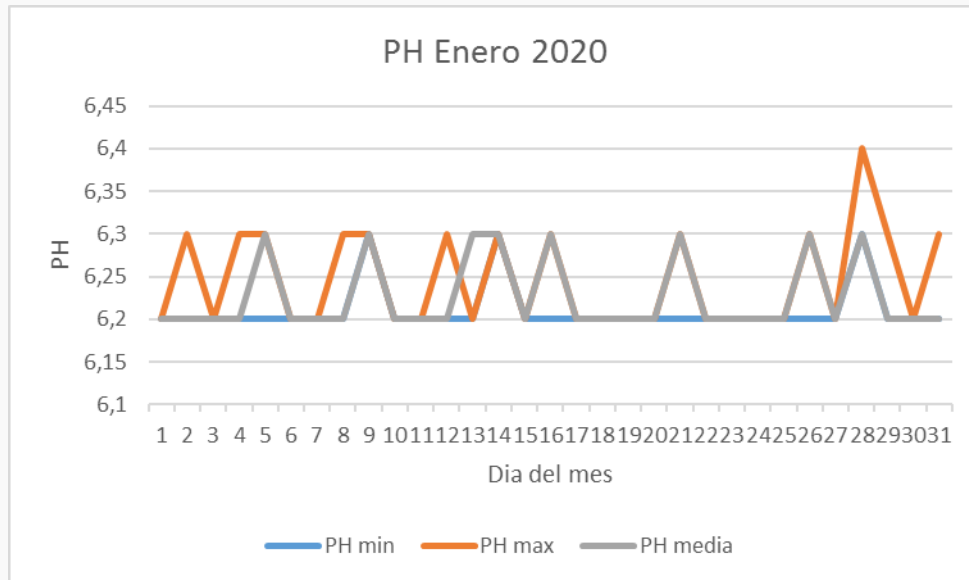


Figura 8.3.3 grafica de PH 2020

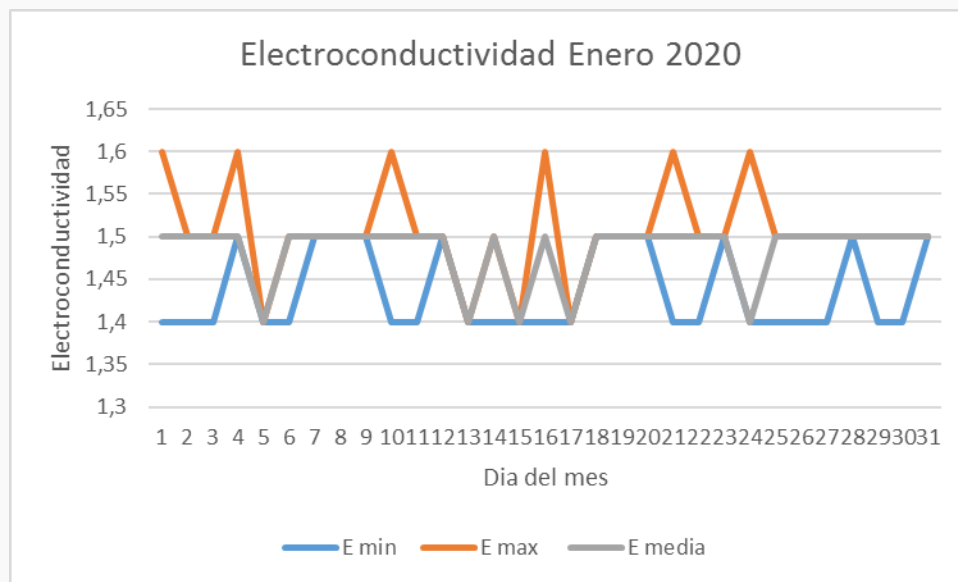


Figura 8.3.4 grafica de Electroconductividad 2020

dichas variables son de gran importancia en el cultivo y tienen la particularidad de que no tienen variaciones relevantes siempre y cuando la solución nutritiva se encuentre en las condiciones deseadas, tales como un recipiente negro sin recibir luz solar, y sin contacto con cualquier objeto ajeno al sistema. En el proceso de elaboración de la solución nutritiva se asegura que ambas variables estén dentro de los valores deseados y teniendo un buen trato no debe ser un inconveniente; este es un motivo más por el cual tener un invernadero, este asegura que no se tengan agentes externos que puedan intervenir la solución nutritiva y generen variaciones no deseadas en el PH y la electroconductividad.

La temperatura de la solución nutritiva tampoco es un problema debe estar encima de 15°C y la mínima durante todo el año fue de 17.2°C. De acuerdo a las respuestas obtenidas ver (tabla 8.3.3) (Figura8.3.3).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
T min °C	17,2	17,5	18,5	18,3	18,4	18	17,8	17,8	17,5	17,2	17,4	17,3
T max °C	27	27,12	26,8	26,8	26	26,2	27	26,8	26,8	26,2	25,7	26,2
T media °C	21	21,8	22,1	21,8	21,7	21,6	21,9	21,8	21,8	21,3	21	21,2

Tabla 8.3.4 Temperatura solución nutritiva

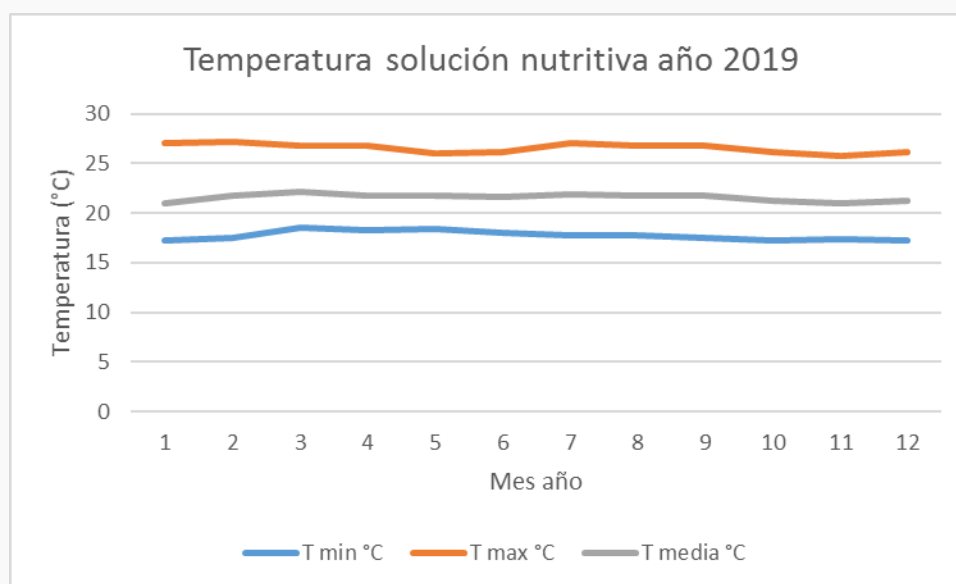


Figura 8.3.4 grafica temperatura solución nutritiva 2020

Se encuentra el motivo por el cual los cultivadores utilizan medios básicos para automatizar el cultivo ya que las variables del sistema son bastante estables y en el clima Colombiano no se tendrán grandes dificultades para sacar cultivos solo preocupándose por mantener el riego adecuando, sin embargo se exponen a que factores ajenos a lo normal del día les puedan dañar la cosecha por lo que es indispensable un constante monitoreo humano, evitando plagas, midiendo periódicamente el PH, electroconductividad y temperatura de la solución nutritiva, acto que podría afectar dicha solución por la intervención o errores humanos al tener contacto con ella y destapar los contenedores para tomar las medidas, en algunos casos realizando rocíos de agua para bajar un poco la temperatura sobre las plantas, estos procesos de intervención y constante monitoreo humano son los que se pretenden dar solución con este proyecto, además de que al brindarle a la planta

las condiciones exactas que ella necesita hará que la técnica NFT tenga mejores resultados, dando resultados más rápidos y de mejor calidad, en la siguiente imagen se ven los resultados que obtuvimos con el sistema implementado ver (figura 8.3.5) Por todo ello se puede llegar a la conclusión de que es un cultivo que vale la pena automatizar ya que con un bajo costo se puede lograr que sea un sistema que prácticamente se valga por el solo, generando grandes resultados con poca inversión de mano de obra humana y tiempo de trabajo.



Figura 8.3.5 Sistema NFT

9 conclusiones

El sistema NFT para lechugas en invernadero posee variables lentas y aquellas que están ligadas al clima, se encuentran en rangos que entran entre los valores en los que oscilan las condiciones climáticas de Santa rosa de Cabal y en general de Colombia.

Al ser un sistema con variables lentas y estables en el lugar de implementación, genera la posibilidad de generar un control y automatización de bajo costo, tanto económico como computacional.

Con el apogeo del internet de las cosas (IoT) han surgido variedad de plataformas para monitoreo en línea de variables donde a través de una interfaz de usuario creada para el proceso de control hace de este sistema una herramienta sencilla y amigable con el usuario, en el cual se puede manejar todas las variables involucradas en los cultivos hidropónicos en su gran mayoría con secciones gratuitas con restricción en la cantidad de variables e información a almacenar, al ser este un sistema con pocas variables y sin necesidad de mantener históricos de ellas mismas, puede hacer uso de estos espacios gratuitos.

Al obtener un registro de las variables del sistema de aproximadamente 1250000 datos al mes, podemos obtener información importante que ayude a mejorar la calidad de las producciones futuras.

La implementación de este proyecto permite disminuir la intervención directa en el proceso de producción lo que quiere decir que se podrá producir lechugas de mejor calidad y a un menor costo.

El sistema funciona de forma estable y correcta demostrando que vale la pena implementar un control más sofisticado al que se viene implementando tradicionalmente en el país sobre dicho sistema.

El seguimiento y monitoreo en este tipo de cultivo siempre debe de ser metódico y continuo, registrando la mayor cantidad de datos y observaciones posibles.

Con la técnica NFT, se pudo desarrollar un proyecto de producción continua, que nos permite cuantificar el número de plantas de acuerdo al espacio disponible, la nutrición, la temperatura y el tiempo de siembra-cosecha obteniendo un resultado final libre de contaminación a bajo costo y sin perjuicio para el planeta

10 bibliografía

- [1] Z. Serrano Cermeño. Construcción de invernadero, editorial mundiprensa edición 2005.
- [2] Ing. Guillermo Guzmán Díaz. Hidroponía en casa, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Sistema Unificado de Información Institucional.
- [3] Gilda Carrasco, PH. D. La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante ("NFT") organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación- universidad de Talca.
- [4] Castañeda, F. 1997. Manual Técnico de Hidroponía Popular (cultivos sin tierra). Publicación INCAP/OPS MDE/104.
- [5] ESP github.com/jaimelaborda/Planta-Twittera/wiki/1.-Introducción-al-ESP8266-y-NodeMCU
- [6] MQTT www.luisllamas.es/que-es-mqtt-su-importancia-como-protocolo-iot/
- [7] IO [adafruit learn.adafruit.com/welcome-to-adafruit-io/what-is-adafruit-io](http://adafruit.learn.adafruit.com/welcome-to-adafruit-io/what-is-adafruit-io)
- [8] <http://www.slideshare.net/carcpolo/2-historia-de-los-plc-s>